

Bruna Souza da Silva

**Integração de dados
para localização de alvos de pesquisa de minério de ferro
na região de Mariana, Quadrilátero Ferrífero - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ
2008

Bruna Souza da Silva

**Integração de dados
para localização de alvos de pesquisa de minério de ferro
na região de Mariana, Quadrilátero Ferrífero - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto
de Geociências, Universidade Federal
do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito
necessário para obtenção do Grau de
Bacharel em Geologia.

Orientador:
Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane

Rio de Janeiro
Março de 2008

DA SILVA, B. S.

Integração de dados para localização de alvos de pesquisa de minério de ferro na região de Mariana, Quadrilátero Ferrífero – MG. Bruna Souza da Silva – Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, ano 2008, 61p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2008.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane.

1. Geologia. 2. Geologia Regional e Econômica – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Seoane, J. C. S. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Graduação em Geologia. III. Integração de dados para localização de alvos de pesquisa de minério de ferro na região de Mariana, Quadrilátero Ferrífero – MG.

Bruna Souza da Silva

**Integração de dados
para localização de alvos de pesquisa de minério de ferro
na região de Mariana, Quadrilátero Ferrífero - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação em Geologia do Instituto
de Geociências, Universidade Federal
do Rio de Janeiro – UFRJ,
apresentado como requisito
necessário para a obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador:
Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane

Aprovada em: 19.03.2008

Por:

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane (UFRJ)

Prof. Dr. Henrique Dayan (UFRJ)

Msc. Roberto Gonçalves de Souza Filho (Starfish Oil & Gas)

*A Deus,
por nunca ter deixado
a centelha da curiosidade
se apagar.*

Agradecimentos

Venho agradecer, primeiramente, à Universidade Federal do Rio de Janeiro, pela oportunidade única da conclusão do curso de Graduação em Geologia, pela referida instituição. Todo apoio e incentivos de diversos gêneros – sejam materiais ou pessoais – foram essenciais para que a jornada fosse trilhada com maior clareza e relativa tranquilidade.

Agradeço a todos os professores envolvidos no corpo docente do Departamento de Geologia da UFRJ. Sem eles o conhecimento não seria direcionado e bem aproveitado.

Agradeço também aos colegas de curso, que tornaram o caminho árduo e pedregoso mais suave e agradável. Cada momento compartilhado foi essencial para o amadurecimento pessoal e intelectual.

Agradeço especialmente aos amigos Franco Quadros e Rodrigo Cavalcante, onde a cada tropeçar havia um braço amigo. Aos amigos Luiza Verdan e Roberto Miceli, por todo companheirismo, risos e abraços, nossa amizade é essencial. Aos colegas Luis Felipe Fragoso, Leandro Andrei e Victor Ferreira, o meu mais sincero carinho, posto que todo aprendizado, quando simbiótico, é mais interessante.

À Metal Data SA, empresa pela qual tenho adquirido conhecimentos pertinentes à futura profissão, mas que não são absorvidos no meio acadêmico. Meu sincero agradecimento por toda experiência e “bagagem” adquirida.

Ao colega de trabalho Carlos Delgado, por toda atenção e acompanhamento de campo, e à sua família, pelo acolhedor acolhimento nesta fase, todo respeito e meus agradecimentos são poucos.

Ao Coronel Menezes, por tudo que sempre aprendi e por grande parte do que sou, além das revisões e conversas cartográficas, dedico meu profundo carinho e admiração.

Aos doutores Manoel Fernandes e José Carlos Seoane, meus eternos agradecimentos e as futuras dúvidas. Ao primeiro, pela abertura da visão ao mundo e incentivo “criacional”; e ao segundo pelo aperfeiçoamento e pinceladas finais.

Ao Felipe, meu porto seguro, por todos os pontos onde fraquejei, nos quais estava lá, ao meu lado, palavras faltam para terminar a frase...

Por último, mas não menos importante, à minha família. Por todas as noites em claro, as conversas animadoras, os incentivos conceituais e fiscais, o carinho e as broncas. Cada palavra e gesto são únicos, e foram essenciais para cada posicionamento e escolha, além da aceitação das respostas e conseqüências. Meu eterno amor e dedicação àqueles que me

fizeram a outra parte do que sou e proporcionaram o caminho para chegar até aqui.

"Deus criou o sol. E as árvores, e os animais, e os minerais. Mas de repente, para absoluta surpresa sua, olhou e viu, maravilhado, que cada coisa tinha uma sombra. Nessa, francamente, ele não tinha pensado."

(Millôr Fernandes – 1958)

Resumo

DA SILVA, Bruna Souza. Integração de dados para localização de alvos de pesquisa de minério de ferro na região de Mariana, Quadrilátero Ferrífero - MG. 2008, 61p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia). Departamento de Geologia, Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

O geoprocessamento de dados geológicos vem sendo amplamente utilizado em ambientes de pesquisa mineral para otimizar todo o procedimento de *survey*. A compatibilização de dados para que sejam manuseados de forma cada vez mais precisa e rápida auxilia na interpretação do conteúdo geológico em imagens de satélite, geofísica e mapeamentos prévios para determinar um plano de campo mais objetivo e com menos gastos. A pesquisa para minério de ferro tem demandado geo-informações que acrescentem qualidade ao levantamento prévio ao campo para que a fase final seja adiantada, passando-se então às análises químicas e petrográficas, e à sondagem com menos tempo dispendido nas fases anteriores. Com objetivos de organizar uma seqüência de passos a serem seguidos, o presente trabalho demonstra uma metodologia para localização de possíveis corpos de minério de ferro, onde tem como alvo uma região de reconhecido potencial, o Quadrilátero Ferrífero. As litologias mineralizadas incluem itabiritos e cangas, devidamente identificadas em imagem de satélite por suas texturas e vegetação associada. Respostas geofísicas com assinaturas magnéticas expressivas e baixo conteúdo de radioelementos, mapeamentos anteriores que identificaram satisfatoriamente os litotipos mineralizados e trabalhos de campo para maior detalhamento.

Palavras-chave: minério de ferro, geoprocessamento, pesquisa mineral.

Abstract

DA SILVA, Bruna Souza. Data integration for iron ore targets generation at Mariana area, Iron Quadrangle – MG. 2008, 61p. Course Conclusion Project (Bachelor Degree in Geology). Geology Department, Geosciences Institute - Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

The geoprocessing of geological information is becoming broadly utilized in mineral exploration in order to optimize all the procedures of survey. Making data compatible to be handled within a GIS is the fastest and more precise way of aiding the geological interpretation, using satellites images, geophysics and previous mapping, in order to cut project time and costs. Iron ore exploration demands high-quality geo-information, in order to allow the early entry into the phases of chemical and petrographical analysis and a faster vectoring towards drilling targets. This work presents a methodology for iron mineralization detection within a known high potential region, the Iron Quadrangle (*QF – Quadrilátero Ferrífero*). Mineralized lithologies include itabirites and lateritic duricrusts (*canga*), readily recognized in satellite imagery by their textures and associated vegetation covers, geophysical responses with expressive magnetic signatures and low radiometric content and previous mapping which satisfactorily identified mineralized lithotypes and follow-up field work summarizes all in the final geologic map.

Key-words: iron ore, geoprocessing, mineral exploration.

Lista de Figuras

Figura		Página
3.1	Mapa de localização, indicando a região de Mariana e a área de estudo de caso. Fonte dos dados cartográficos: IBGE.	6
3.2	Classificação climática Köppen-Geiger para a América do Sul (Peel et al., 2007).	9
4.1	Mapa de localização, indicando o QFe dentro do contexto geográfico (4.1a) e geológico (4.1b) brasileiro. As cores diferenciadas na figura 4.1b representam as principais Formações que compõem o QF. Fonte dos dados cartográficos: CPRM (2003).	14
4.2	Síntese da evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero. (a) Configuração anterior ao evento Transamazônico; (b) etapa inicial da colisão Transamazônica; (c) etapa final da colisão Transamazônica; (d) colapso extensional da cordilheira formada; (e) desenvolvimento final da extensão, com a formação das estruturas em domos e quilhas. Fonte: Alkmim & Marshak (1998).	16
4.3	Mapa do QF, indicando os principais grupos que compõem a estratigrafia regional e também principais complexos. Fonte dos dados cartográficos: Lobato et al. (2005).	17
4.4	Localização das principais estruturas do QF. Fonte dos dados cartográficos: Silva (1999).	23
5.1	Localização das Cartas topográficas utilizadas no projeto "Integração e Correção Cartográfica", da CODEMIG. Fonte: Lobato et al. (2005).	25
5.2	Mapa litológico da área de estudos, na região de Mariana. Fonte dos dados cartográficos: Lobato et	36

al. (2005).

5.3	Mapa de interpretação dos compartimentos de uso do solo da área de estudo e a imagem Ikonos base.	41
5.4	Detalhes da imagem Ikonos demonstrando as transições abruptas da vegetação da área de estudo localizadas no mapa interpretado.	42
5.5	SRTM da área. Visão de NE para SW.	43
5.6	SRTM revestido por algumas informações, como hipsometria, imagem Ikonos, mapa litológico e mapa de uso do solo.	44
5.7	Imagem aeromagnética da Amplitude do Sinal Analítico.	45
5.8	Imagem aeromagnética da correção pelo IGRF.	46
5.9	Imagem aeromagnética da 1ª derivada horizontal em X.	47
5.10	Imagem aeromagnética da 1ª derivada vertical.	48
5.11	Imagem gamaespectrométrica do canal de Contagem Total.	49
5.12	Imagem gamaespectrométrica do canal Th.	50
5.13	Imagem gamaespectrométrica do canal U.	51
5.14	Imagem gamaespectrométrica do canal K.	52
5.15	Imagem gamaespectrométrica do Mapa Ternário.	53
5.16	Mapa de pontos de campo e caminhamentos, coletados com GPS.	54
5.17	Pontos de detalhe localizados na imagem Ikonos,	55

mostrando pontos de controle coletados em GPS para o georreferenciamento da mesma.

Lista de Tabelas

Tabela		Página
4.1	Coluna estratigráfica resumida do SGRV (modificado de Baltazar, 2005).	18
4.2	Coluna estratigráfica resumida do SGM (modificado de Baltazar, 2005).	19
4.3	Coluna estratigráfica resumida do SGE (modificado de Costa & Würdig, 2007).	20
5.1	Configurações dos dados originais do SRTM. Fonte: USGS (http://seamless.usgs.gov)	28

Lista de Abreviaturas e Siglas

AM: Anticlinal de Mariana.

ASA: amplitude do sinal analítico.

BGS: *British Geological Survey* (Serviço Geológico Britânico).

BOF: *Basic Oxygen Furnace* (forno de conversão a oxigênio).

CAF: Companhia Agro Florestal.

CMYK: composição de quatro bandas (*cyan, magenta, yellow, black*) de pigmentação química (tinta) utilizada principalmente para impressão.

CODEMIG: Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais.

CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil).

CT: contagem total do canal gamaespectrométrico (U, TH, K).

DNPM: Diretoria Nacional de Pesquisa Mineral.

DRI/HBI: *Direct Reduced Iron / Hot Bricketed Iron* (processos por redução direta).

Dx: 1ª derivada do sinal magnetométrico na horizontal em X.

Dz: 1ª derivada do sinal magnetométrico na vertical.

EAF: *Electric Arc Furnace* (forno elétrico a arco).

IGRF: *International Geomagnetic Reference Field* (campo de referência geomagnética internacional).

IAGA: *International Association of Geophysics and Aeronomy* (Associação internacional de Geofísica e Aeronomia).

IUGG: *International Union of Geodesy and Geophysics* (União Internacional de Geodésia e Geofísica).

GDB: *geodatabase* (banco de dados geográfico).

GPS: *geographic positioning system*.

MDE: Modelo Digital de Elevação.

NASA: *National Aeronautics and Space Administration* (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço).

NGA: *National Geospatial-Intelligence Agency* (Agência Nacional de Inteligência Geoespacial).

nT: nano-Tesla.

ON: Observatório Nacional.

PLGB: Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

QF: Quadrilátero Ferrífero.

RGB: composição de três bandas (*red, green, blue*) do espectro luminoso.

SAD69: *South American Datum 1969* (Datum Sulamericano de 1969).

SFAQ: Sistema de Falhas da Água Quente.

SGE: Supergrupo Espinhaço.

SGM: Supergrupo Minas.

SGRV: Supergrupo Rio das Velhas.

SIG: sistema de informações georreferenciadas (ou geográficas).

SRTM: *Shuttle Radar Topographic Mission* (Missão Topográfica do Radar Shuttle).

SSR: Sinclinal redobrado de Santa Rita.

USGS: *United States Geological Survey* (Serviço Geológico Norte Americano).

UTM: *Universal Transverse of Mercator*.

Sumário

Agradecimentos	vi
Epígrafe	viii
Resumo	ix
<i>Abstract</i>	x
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Abreviaturas e Siglas	xiv
Sumário	xvi
1. Introdução	01
1.1. Geoprocessamento	01
1.2. <i>Survey</i>	01
1.3. Minério de Ferro	02
2. Objetivos	05
3. Aspectos Fisiográficos e Históricos	06
3.1. Localização e Acessos	06
3.2. Município Histórico	07
3.3. Fisiografia	08
3.3.1. Geomorfologia	08
3.3.2. Clima	08
3.3.3. Vegetação	10
3.3.4. Hidrografia	11
3.3.5. Solos	11
3.4. Histórico Legal da Área	12
4. Geologia Regional e Local	14
4.1. Quadrilátero Ferrífero	14
4.1.1. Evolução Geotectônica	15
4.1.2. Estratigrafia e Litotipos	17
4.1.3. Geologia Estrutural	21
5. Metodologia e Desenvolvimento	24
5.1. Levantamento Bibliográfico	25
5.2. Geoprocessamento	26
5.2.1. Trabalhos anteriores	26
5.2.2. Sensoriamento Remoto	27
5.2.3. SRTM	28
5.2.4. Geofísica	29
5.2.4.1. Magnetometria	29
(a) Amplitude do Sinal Analítico	30
(b) IGRF	30

(c) Gradiente Horizontal de 1ª Ordem em X	30
(d) Gradiente Vertical de 1ª Ordem	31
5.2.4.2. Gamaespectrometria	31
(a) Contagem Total	32
(b) Canal Tório	32
(c) Canal Urânio	33
(d) Canal Potássio	33
(e) Mapa Ternário	33
5.3. Mapeamento Geológico de Campo	33
5.4. Integração e Interpretação	41
6. Conclusões	56
Referências Bibliográficas	58

Capítulo 1. Introdução

1.1. Geoprocessamento

Num passado não muito remoto do mapeamento dos recursos naturais, as principais – e únicas – ferramentas eram os caríssimos levantamentos aerofotogramétricos, tanto no uso direto (interpretativo) como nas restituições em cartas topográficas. Nos últimos 40 anos (Souza Filho & Crósta, 2003) os recursos computacionais vêm sendo utilizados em larga escala como novas ferramentas em estudos nas várias áreas das geociências, ampliando o leque de fonte de dados.

O recente desenvolvimento de *softwares* específicos para a área tem permitido a aplicação das principais estratégias de mapeamento – com peças importantíssimas, como sensores remotos, geofísica, geoquímica, entre outros – sempre com a finalidade de acelerar o processo de *survey*. A aplicação de técnicas de geoprocessamento em mapeamentos geológicos – através de integração de dados em banco único – acaba por acelerar as interpretações em escritório tanto no *pré*, como no *sin* e, principalmente, no *pós*-campo.

Após a integralização em um banco das variadas fontes de sistemas de informações georreferenciadas (SIG), pode-se passar a interpretá-las nos diversos mapas temáticos elaborados, identificando-se relações entre as informações que antes não eram percebidas.

Com isso, a aplicação do geoprocessamento no mapeamento da distribuição dos recursos econômicos – em maior detalhe no entorno dos depósitos minerais – através de associação de dados de sensores remotos e investigações geofísicas (indiretas) com mapeamentos anteriores em *geodatabase* (GDB), passa a auxiliar no planejamento e interpretação dos trabalhos de pesquisa e exploração mineral.

1.2. Survey

Uma campanha de *survey* é, literalmente, um levantamento em busca de um bem mineral – seja ele metal, rochas ornamentais, material para fins de construção, água mineral – através de técnicas distintas, adequadas ao minério que se rastreia.

Sempre que se pesquisa algum bem mineral específico, geralmente um excelente fator para o “ponta-pé inicial” é em regiões onde já se tem um histórico positivo conhecido – ou seja: ainda é a melhor opção, a mais racional, iniciar por regiões onde já se sabe tradicional a exploração do

minério em questão. No caso do minério de ferro, nada mais conhecido e clássico tal como o Quadrilátero Ferrífero.

A área escolhida como aplicação do presente estudo está localizada no Distrito de Camargos, a cerca de 15km ao norte da sede do município de Mariana, na região do Quadrilátero Ferrífero do Estado de Minas Gerais. Esta encontra-se inserida num contexto de pelo menos 4 outros grandes empreendimentos de exploração do minério de ferro em semelhante contexto geológico – descontando-se ainda aqueles cuja geologia difere na origem geológica do minério.

1.3. Minério de Ferro

O ferro (Fe) é um dos elementos mais comuns da crosta da Terra, respondendo por aproximadamente 4,32% de sua composição (Wedepohl, 1995). Do globo terrestre, o ferro representa uma parcela maior, já que, juntamente com o níquel (Ni), predomina nas camadas mais profundas da esfera, aumentando sua presença no núcleo.

Sendo um elemento de forte reatividade química com grande afinidade com o oxigênio, o Fe é sempre encontrado em forma de compostos naturais estáveis. Sua existência em forma nativa é uma curiosidade geológica que ocorre inserido na composição química de minerais constituintes de rochas basálticas recentes, ou em meteoritos, sem qualquer interesse econômico.

Os compostos naturais (minerais) onde o Fe predomina e que representam interesse econômico são segundo Evans (1992):

- hematita (Fe_2O_3)
- magnetita (Fe_3O_4)
- martita (Fe_3O_4)
- goethita (Fe_2O_3). H_2O
- limonita [$2(\text{Fe}_2\text{O}_3)$. $3\text{H}_2\text{O}$]
- siderita (FeCO_3)
- pirita (FeS_2)

A hematita representa o mais alto grau de oxidação do ferro e os minerais hidratados (goethita e limonita) são resultados de ações supergênicas de precipitações meteóricas, com elevado grau de acidez.

A produção do ferro metálico se faz, geralmente, por redução dos óxidos naturais, com fusão escorificante, em equipamentos denominados altos-fornos, utilizando-se como redutor o monóxido de carbono (CO), obtido pela combustão incompleta do coque de carvão mineral. No Brasil, é também comum o uso do carvão vegetal em substituição ao coque. O produto obtido é denominado ferro gusa.

Por esses motivos, o planejamento detalhado dos procedimentos de extração e de beneficiamento dos minérios de cada jazida é fundamental para que ela seja explorada da forma globalmente mais econômica, gerando o máximo valor (volume e qualidade) para seus produtos.

A indústria de extração e beneficiamento de minério de ferro é uma atividade quase que totalmente voltada para a produção siderúrgica. Estima-se que 98% das vendas de minério de ferro são direcionadas à siderurgia (Metal Data, 2004). O restante é utilizado como carga na indústria de ferro-liga, cimento e, eventualmente na confecção de jóias e construção de estradas. Nesse sentido, as perspectivas de desempenho produtivo do setor siderúrgico constituem-se no principal elemento controlador do nível de atividade de extração e beneficiamento deste minério.

O mercado atual, tanto doméstico quanto internacional, é francamente favorável aos mineradores - com a demanda fortemente aquecida e com restrição quantitativa de oferta. Novas expansões da capacidade de mineração se fazem necessárias e o movimento, tanto de *players* dos segmentos de mineração quanto de siderurgia para aquisição de novas reservas no Brasil, é bastante intenso.

O Brasil dispõe de reservas de minérios de boa qualidade e com disponibilidade e eficiente logística, tanto para abastecimento às usinas nacionais quanto para exportação, configurando-se como centro importante das atenções de grandes siderúrgicas e mineradoras. Do ponto de vista das empresas siderúrgicas, o desenvolvimento de novas minas de minério de ferro é de importância estratégica extremamente relevante, uma vez que a demanda internacional tende a continuar aquecida nos próximos anos e a expansão da oferta deve ser bastante alinhada a essa demanda, mantendo os preços pressionados.

Capítulo 2. Objetivos

No âmbito do geoprocessamento, o presente trabalho tem como objetivo principal propor uma metodologia que otimize a busca por alvos de minério de ferro, tendo em mãos, como produto final, um banco de dados que permita apresentar as múltiplas representações das informações geológicas do depósito.

Com auxílio deste banco gerado, as informações adquirem facilidade em serem combinadas e dispostas em mapas temáticos, conjugadas de acordo com os interesses de quem pretende manuseá-las.

Pretende-se mostrar que os trabalhos efetuados anteriormente à viagem de campo, quando bem realizados e embasados por fontes de informações apropriadas ao bem mineral que se pesquisa tendem a acelerar o processo de alocação de alvos com maior precisão.

O minério de ferro é o bem mineral escolhido por este trabalho como estudo de caso, sendo indicado o uso de aplicações de métodos de investigação indiretos como a magnetometria, uma vez que a resposta do corpo em pesquisa mostra uma assinatura bem marcada e expressiva nas imagens resultantes. Também é desejável a interpretação de sensores remotos, onde os compartimentos litológicos são bem delineados através de feições geomorfológicas e de vegetação.

Capítulo 3. Aspectos Fisiográficos e Históricos

3.1. Localização e Acessos

A área do presente estudo está localizada no Município de Mariana, a aproximadamente 15km da sede deste (figura 3.1). O acesso à área se faz por meio da rodovia MG-120, asfaltada, pela qual se percorre 7km até o trevo para Antônio Pereira. Deste ponto, toma-se estrada secundária não pavimentada para o distrito de Bento Rodrigues. Após 8km, alcança-se os vestígios da sede antiga da Fazenda Gualaxo (atualmente destruída). A partir daí os acessos secundários abertos pela atividade carvoeira, mesmo em estrada de terra, estão em boas condições e permitem alcançar praticamente toda a área.

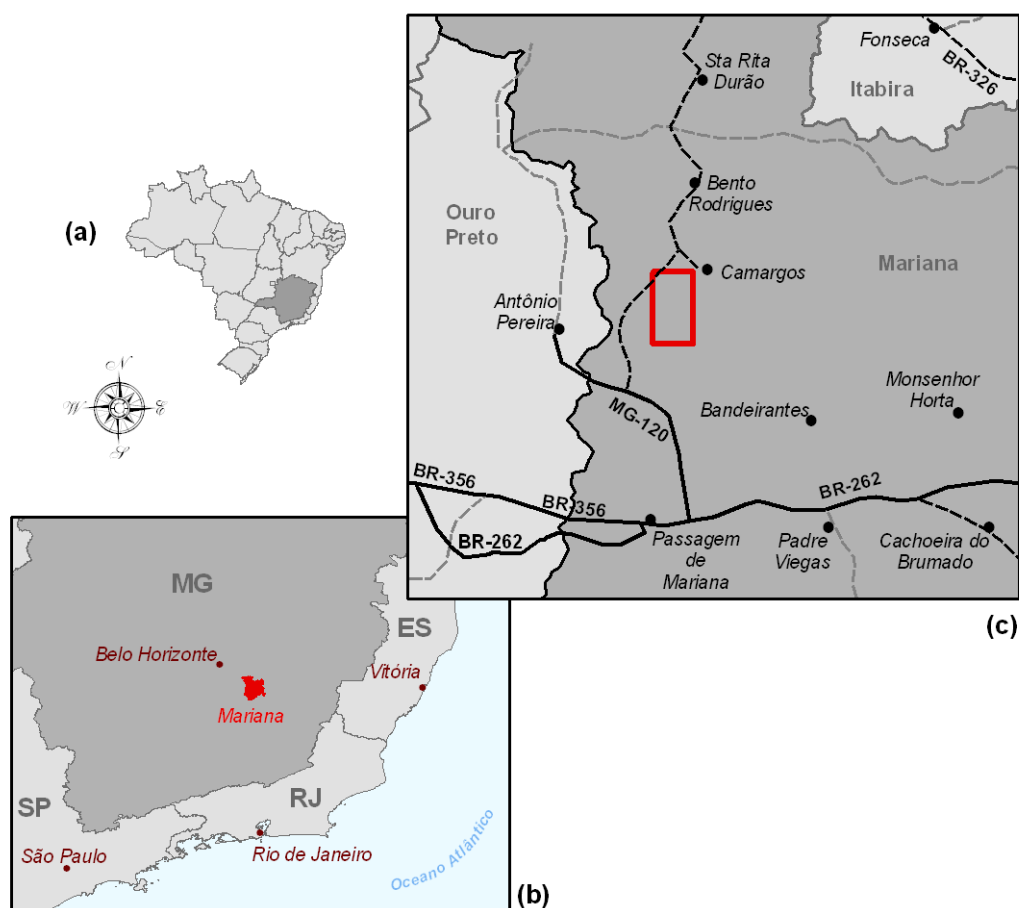


Figura 3.1: Mapa de localização (a), indicando a região de Mariana (b) e a área de estudo de caso (c). Fonte dos dados cartográficos: IBGE (2004).

A área faz parte da fazenda de propriedade da Companhia Belgo Mineira. Esta fazenda/propriedade está voltada para a plantação de eucaliptos e nela são atualmente desenvolvidas atividades ligadas à

carvoaria efetuadas pela CAF , subsidiária da empresa dona da terra. Devido ao fato de existir um único proprietário e por conta da natureza do uso do solo, não há moradores em toda a área.

3.2. Município Histórico

O município histórico de Mariana (figura 3.1) foi a primeira vila fundada no território da capitania de São Paulo e Minas de Ouro hoje divididos em, respectivamente, Estados de São Paulo e Minas Gerais. Sua fundação se deu em 16 de Julho de 1696, quando bandeirantes oriundos de São Paulo liderados por Salvador Fernandes Furtado de Mendonça e Miguel Garcia, descobriram ouro em um rio chamado de Ribeirão Nossa Senhora do Carmo, sendo fundado o arraial de Nossa Senhora do Carmo (Fonseca, 1998). O interesse mundial por ouro colocou o arraial em posição estratégica como um dos principais fornecedores de tal minério para a coroa Portuguesa, elevando sua categoria para vila e ganhando o título de capital da Capitania. Em 1745 foi elevada à categoria de cidade por ordem do rei D. João V e rebatizada de Mariana em homenagem à rainha Maria Ana D'Austria, sua esposa. Com a religiosidade característica da época, Mariana transforma-se em centro religioso recebendo o título de sede do primeiro bispado Mineiro.

Durante o ciclo do ouro brasileiro no século XVIII, a produção estimada de Mariana e de Vila Rica (atual Ouro Preto) correspondeu a quase 50% da produção mundial do minério no período (Fonseca, 1998). Os trabalhos eram realizados a céu aberto ou por meio de pequenos serviços subterrâneos que, geralmente, paravam quando era atingido o lençol freático. Lavrava-se e recuperava-se apenas o ouro contido nos itabiritos, na jacutinga e na canga ferro-aurífera e, somente após o ano de 1800 é que foi descoberto ouro nos quartzitos, xistos grafitosos e dolomitos, dando novos rumos a exploração das jazidas. A partir dos anos de 1980 até o presente, o carro chefe da mineração em Mariana tem sido e promete ser, pelas próximas décadas, o minério de ferro.

Mariana foi a primeira cidade projetada em Minas Gerais, criada pelo engenheiro militar José Fernandes Pinto de Alpoim (Fonseca, 1998), que lhe conferiu um plano urbano e ruas em linha reta para que a cidade pudesse exercer suas funções. Hoje, a cidade faz parte da Estrada Real e da Trilha dos Inconfidentes, tombada pelo Patrimônio Histórico e Cultural em 1945, como Monumento Nacional, pelo seu conjunto arquitetônico e urbanístico e, conseqüentemente, sua história.

3.3. Fisiografia

3.3.1. Geomorfologia

O ambiente geomorfológico em que se insere a área de pesquisa é formado por duas unidades de relevo: o Quadrilátero Ferrífero e os Planaltos Dissecados (RADAMBRASIL, 1983 *apud* Souza *et al.*, 2005).

- Quadrilátero Ferrífero – É caracterizado por um relevo Apalachiano, com formas influenciadas por dobramentos e falhamentos e com influência das litologias, sendo as cristas alinhadas atribuídas a rochas quartzíticas e itabiritos, com altitudes médias em torno de 1.400-1.600m. Pode ocorrer formação de crostas ferruginosas correspondentes às cangas. O controle estrutural na morfologia é marcante e são descritos relevos tipo sinclinais suspensos e anticlinais esvaziados além de cristas estruturais do tipo *hogback*. Os vales são fortemente encaixados, com elevados gradientes de drenagens. Este domínio cobre praticamente toda a área de estudo.

- Planalto Dissecado do Leste de Minas Gerais - Forma um panorama geral de relevos mais baixos, sendo as colinas as expressões topográficas dominantes. Nessa unidade as altitudes são muito variáveis, oscilando entre 1.000 e 1.200m nas cristas e 500-800m nos vales. As formas de relevo mais acentuado são resultantes de processos intempéricos de dissecção. A presença de cristas é mais restrita. Este quadro/cenário é marcante a oeste da área, já fora dos domínios de rochas do Supergrupo Minas, com predominância de gnaisses e demais litologias tidas como pertencentes ao Embasamento Cristalino.

Vale ressaltar que, embora a área esteja enquadrada de uma forma geral na primeira unidade, está muito próxima do limite este da mesma. Logo, a alguns quilômetros a este, já se desenvolve a segunda unidade.

3.3.2. Clima

A área está enquadrada em zona de clima mesotérmico brando. Trata-se de clima úmido, com pequena deficiência anual de águas, e mesotérmico, com pequena concentração de energia térmica no verão. De um modo geral, estas características são favoráveis ao crescimento vegetal em qualquer época do ano.

Conforme a classificação de Köppen (figura 3.2), o clima encontra-se entre as classificações Cwa e Cwb. Essa classificação baseia-se fundamentalmente na temperatura, na precipitação e na distribuição de valores de temperatura e precipitação durante as estações do ano. No presente caso: C = clima subtropical ou temperado, w = chuvas de verão, a = verões quentes e b = verões brandos (Peel *et al*, 2007).

A classe Cwa é predominante nas regiões de menor altitude, apresentando um clima úmido de verões quente, estação seca curta e temperatura média anual entre 21.8-19.5°C (onde a média do mês mais frio é inferior à 18°C). Já a classe Cwb domina os níveis mais elevados, apresentando inverno seco e verão com temperaturas não elevadas, mais brandas, onde a média anual oscila entre 17.4-19.8°C, com média do mês mais quente inferior a 22° (IBGE, 1996).

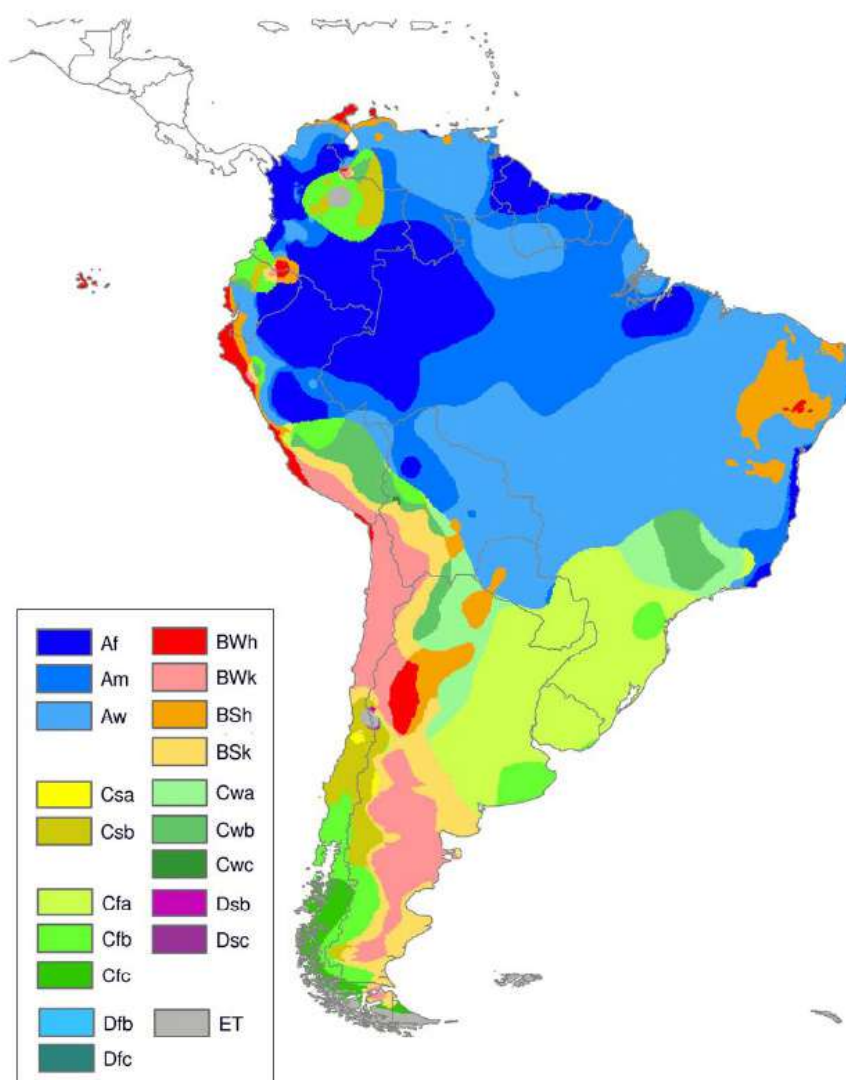


Figura 3.2: Classificação climática Köppen-Geiger para a América do Sul (Peel *et al.*, 2007).

3.3.3. Vegetação

Regionalmente, a área se encontra entre os domínios Tropical Atlântico e Cerrado (IBGE, 1996), apresenta predominância de vegetação campestre. No entanto, de acordo com os fatores edáficos locais, como fertilidade, umidade, rochosidade e topografia, esta tipologia mostra fisionomias bastante variáveis.

As matas remanescentes encontram-se interrompidas em manchas bastante restritas, acompanhando as ravinas naturais de drenagem e vales, algumas vezes ocorrendo em encostas. Algumas intervenções antrópicas são notáveis com a mudança de uso do solo referente ao reflorestamento.

Estão descritos abaixo os principais ambientes florísticos observados na área. Estas unidades estão classificadas em imagem Ikonos posteriormente (vide capítulo 5) no presente trabalho.

- Ambientes campestres nativos: Constitui uma tipologia com ampla abrangência, apresentando variação na estrutura e composição florística. Nas maiores cotas, sobre os substratos com alta compacidade, predominam os campos ferruginosos. Geralmente, na canga couraçada desenvolve-se uma vegetação mais rarefeita, tornando-se mais fechada (densa) e de maior porte à medida que o substrato apresenta-se mais fraturado e friável. Dentro da unidade campestre há ocorrência de formações que variam desde um tapete curti-graminoso, composto principalmente por gramíneas e ciperáceas, sobre o qual se desenvolvem arbustivas em frequência variável, até as formações mais lenhosas, em que a espécie predominante é a Candeia-mole (*Eremanthus glomerulatus*) (Metal Data, 2004). Esta formação deve ser distinguida daquela composta por Candeia (*Eremanthus erythropappus*), fruto de ambientes associados com forte influência antrópica.

- Ambientes florestais: Apresentam-se, geralmente, junto às drenagens naturais, algumas vezes estendendo-se por parte dos flancos das serras. Constituem principalmente as matas de galeria. Analisando os componentes florestais, verifica-se tratar de sistemas secundários, cuja fisionomia é identificada pela floresta estacional semidecidual (floresta tropical subcaducifolia). Há ainda indícios de fragmentos de florestas em diversos estágios de regeneração e registros de exploração seletiva de madeira (RADAMBRASIL, 1983 *apud* Souza *et al.*, 2005).

- Floresta estacional secundária: Nas áreas transicionais, as espécies campestres se mesclam àquelas relacionadas aos ambientes florestais, conformando ecótonos com alta diversidade. Em alguns locais de difícil acesso, os remanescentes florestais apresentam epífitas, sendo

comuns às famílias *Araceae*, *Bromeliaceae*, *Orchidaceae*, *Piperaceae* (Metal Data, 2004).

- Ambientes antrópicos: Naturalmente, todas as formações descritas anteriormente apresentam algum grau de modificação. Atualmente, verifica-se que o reflorestamento é a atividade econômica que ocupa a maior parte da área. São reflorestamentos velhos, em regime de talhadia. Dentro da área há grande variação na estrutura do eucaliptal, porém, em todos os sítios o sub-bosque é bastante expressivo (Metal Data, 2004).

3.3.4. Hidrografia

A rede de drenagens local está fortemente condicionada ao quadro tectônico, onde dobramentos e as falhas de empurrão condicionam as principais direções dos cursos d'água. O Rio Gualaxo corta a porção norte, correndo de oeste para este e tomando direção norte a partir da foz do Córrego Vermelho. Estas duas drenagens são as principais da área. O Córrego Vermelho corre ao longo do limite este da área, tendo suas cabeceiras situadas nas elevações situadas ao sul. Na parte oeste, também paralela ao limite da área, ocorre outra drenagem de menor expressão, tributária do Rio Gualaxo.

A ação erosiva destes dois afluentes do Rio Gualaxo teve forte ação de dissecação sobre as encostas dos itabiritos, sobre os filitos. Os locais onde se desenvolveram crostas representadas por cangas foram mais resistentes aos acentuados processos intempéricos.

3.3.5. Solos

Lista-se a seguir os principais tipos de solo (classes pedológicas) presentes na área (Metal Data, 2004):

- Latossolos: solos muito profundos (mais de 2,0m de profundidade), de cor vermelha, alaranjada ou amarela, muito porosos, com textura variável, baixa capacidade de troca de cátions e fortemente intemperizados. Os teores de óxidos de ferro e alumínio são elevados e ocorrem principalmente sobre as rochas dos diques metamáficos.

- Solos Podzólicos: solos de profundidade mediana (1,5 a 2,0m) observados em campo, com perfis bem desenvolvidos, moderadamente a bem intemperizados, e representa o produto de alteração dos xistos e filitos dos grupos Caraça e Piracicaba.

- Solo Aluvial: solos desenvolvidos sobre sedimentos recentes, geralmente de origem fluvial, constituídos de camadas alternadas e, freqüentemente, de classes texturais distintas. Ocorrem nas margens das

drenagens como no Rio Gualaxo, onde se observam estes solos bem desenvolvidos.

- Regossolos: solos formados a partir de material transportado e apresentam textura arenosa. Variam de pouco a muito profundos, uniformes e soltos, apresentando-se em início de formação. Ocorrem principalmente nas encostas, tendo fragmentos de hematita como componente principal.

- Solos Litólicos: São solos com horizonte A ou "O" (orgânico), com menos de 40cm de espessura. Esses solos formam-se diretamente sobre a rocha ou sobre material com mais de 90% do volume de sua massa constituída por fragmento de rocha maior que 2mm de diâmetro. Ocorrem principalmente sobre as formações ferríferas, sendo o tipo mais expressivo na área.

3.4. Histórico Legal da Área

Na área denominada Gualaxos pela *Metal Data SA*, foram realizados trabalhos de prospecção e pesquisa mineral em meados da década de 70. Para o Processo junto ao DNPM (Diretoria Nacional de Pesquisa Mineral) de número 806.556/73 foi publicado em fevereiro de 1974 o Alvará de Pesquisa para minério de ferro na área de Gualaxos para a *Sociedade de Mineração dos Gualaxos*, cujo Relatório Final de Pesquisa foi apresentado em junho de 1978 e aprovado em janeiro do ano seguinte.

Embora o requerimento para lavra tenha sido protocolado no DNPM pela *Sociedade de Mineração dos Gualaxos* em janeiro de 1980 e o Plano de Aproveitamento Econômico, visando demonstrar a viabilidade técnica e econômica de se produzir minério de ferro, ter sido apresentado no mesmo ano, diversas exigências referentes ao Plano de Aproveitamento Econômico foram feitas pelo DNPM, sem cumprimento integral por parte do concessionário.

Os trabalhos de pesquisa desenvolvidos pela *Sociedade de Mineração dos Gualaxos* almejavam a lavra e beneficiamento de minério de ferro com granulometria superior a 0.15mm, de forma a satisfazer o mercado da época com produtos granulados e *sinter feed*. Desta forma, a cubagem realizada focou apenas a lavra do minério rolado com teor superior a 65%Fe, *lump* e *sinter feed* (Metal Data, 2004). Os trabalhos de sondagem foram concentrados na parte central; e mesmo sendo a porção sul da área geologicamente bastante atraente para a ocorrência de minério de ferro, não foi incluída nos trabalhos de pesquisa realizados - resultando em um aproveitamento bastante restrito do corpo de minério,

penalizando grande parte dos recursos minerais da área, já que esta ocorrência é predominantemente constituída de itabirito friável.

Em paralelo, o mercado de minério de ferro nos fins dos anos 70 atravessava uma crise mundial, o que implicou numa tentativa de viabilização das reservas a muito baixo custo. O projeto não contemplou a aplicação das melhores técnicas existentes, de forma a promover uma boa concentração do minério e recuperar grande parte do itabirito, cujo teor, segundo os resultados da pesquisa, situava-se por volta de 45% de ferro.

Em abril de 1991, os direitos cobertos pelo processo DNPM 806.556/73 foram transferidos para *Bramok Mineração S/A*. Com a posterior extinção desta empresa e por decurso de prazo, a área foi colocada em disponibilidade pelo DNPM, para nova pesquisa mineral, em janeiro de 2006, e nesse contexto permanece até a presente data.

Capítulo 4. Geologia Regional

O Quadrilátero Ferrífero (QF) está inserido na porção Sul do Cráton São Francisco e tem cerca de 7.000km² (figura 4.1a). Tendo seus vértices próximos das cidades de Itabira a nordeste, Mariana a sudeste, Congonhas a sudoeste, e Itaúna a noroeste; envolve várias outras cidades, entre elas Nova Lima, Sabará, Santa Bárbara, Itabirito e Ouro Preto (figura 4.1b).

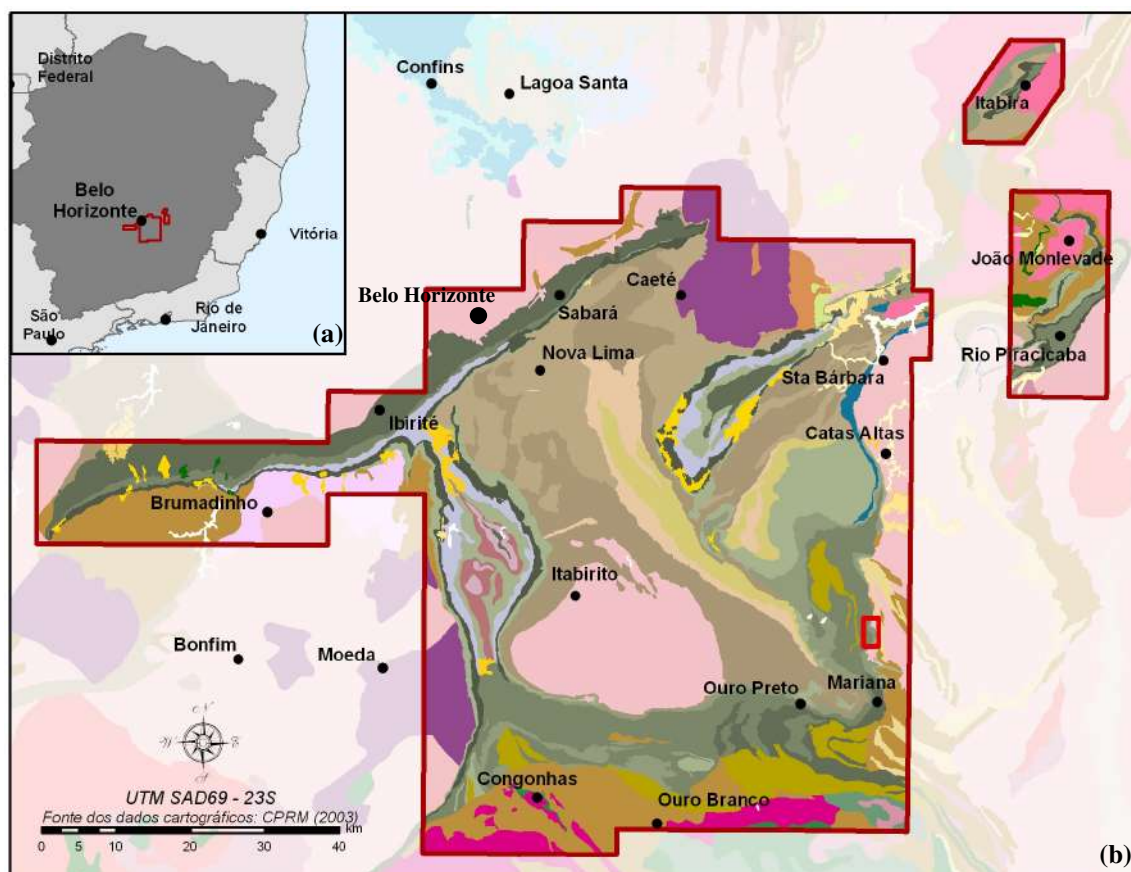


Figura 4.1: Mapa de localização, indicando o QF dentro do contexto geográfico (4.1a) e geológico (4.1b) brasileiro. As cores diferenciadas na figura 4.1b representam as principais Formações que compõem o QF.
Fonte dos dados cartográficos: CPRM (2003).

O QF é uma das principais áreas de metalotectos do Brasil, inclusive pela diversidade de sua produção de ferro e ouro, principalmente, além de manganês e bauxita. Outros metais de ocorrências associadas, geralmente subordinadas, são prata e paládio.

As principais formações ferríferas bandadas do mundo foram depositadas durante o Arqueano tardio e durante o Paleoproterozóico, segundo Evans (1992). No Brasil, estes tipos de depósitos estão

representados nos distritos mineiros do Quadrilátero Ferrífero (MG), Carajás (PA) e em Urucum (MT).

No distrito mineiro do QF, os itabiritos foram formados entre idades de 2,6 a 2,4Ga. (Babinski *et al.*, 1993), sendo equivalentes metamórficos de jaspelitos similares a outros depósitos de formações ferríferas no mundo, como particularmente Transvaal na África do Sul e Hamersley na Austrália.

Existem diferentes variedades petrográficas dos chamados itabiritos da Região do QF. Os diferentes tipos de itabirito refletem as variações químicas e mineralógicas do ambiente de deposição e indicam as mudanças de fácies ocorridas dentro da bacia. Como resultado, são encontradas formações ferríferas ricas em argilas e carbonatos, além de lentes de corpos de minério de ferro duro e muito rico (Metal Data, 2004). O metamorfismo superimposto deu origem a rochas itabiríticas normais, constituídas de bandas de minério de ferro intercaladas a bandas de sílica, itabiritos carbonáticos (dolomíticos), itabiritos anfíbolíticos e corpos ricos em hematita.

O ambiente tectônico da sedimentação dos itabiritos do QF é ainda controverso (Metal Data, 2004), já que ele pode ter ocorrido em bacias intracratônicas ou em bacias marinhas marginais. O registro sedimentar enquadra-se adequadamente como um modelo de sedimentação epicontinental durante um intervalo de estabilidade tectônica, situado entre dois períodos de orogênese: um de idade Arqueana (2,8-2,7Ga.) e outro Proterozóica tardia (2,1-1,9Ga.). O evento é similar ao que ocorre em bacias Sul-Africana e Australiana, quando a orogênese afetou os sedimentos da bacia somente 300Ma. após ter sido completada a sedimentação plataformal (Babinski *et al.*, 1993).

4.1. Quadrilátero Ferrífero:

4.1.1. Evolução Geotectônica

Alkmim & Marshak (1998) propõem um modelo com seis eventos geotectônicos para explicar a evolução e a disposição das principais estruturas do QF, baseado em evidências geométricas de campo e datações radiométricas, até então disponíveis para essa região (figura 4.2). Dessa forma, durante o Arqueano teria se desenvolvido o 1º evento, correspondente à orogênese Rio das Velhas, responsável pela formação dos terrenos granito-*greenstone*, composto por uma associação entre os gnaisses do embasamento cristalino, a seqüência meta-

vulcanossedimentar do Supergrupo Rio das Velhas e o plutonismo intermediário.

Durante o Paleoproterozóico teria se desenvolvido o 2º evento, de caráter extensional, correspondendo à formação da plataforma continental onde foi depositada a seqüência sedimentar do Supergrupo Minas (figura 4.2a). O 3º evento caracteriza a inversão do regime tectônico, com formação de um cinturão de dobramentos e falhamentos vergentes para NW (figuras 4.2b e 4.2c).

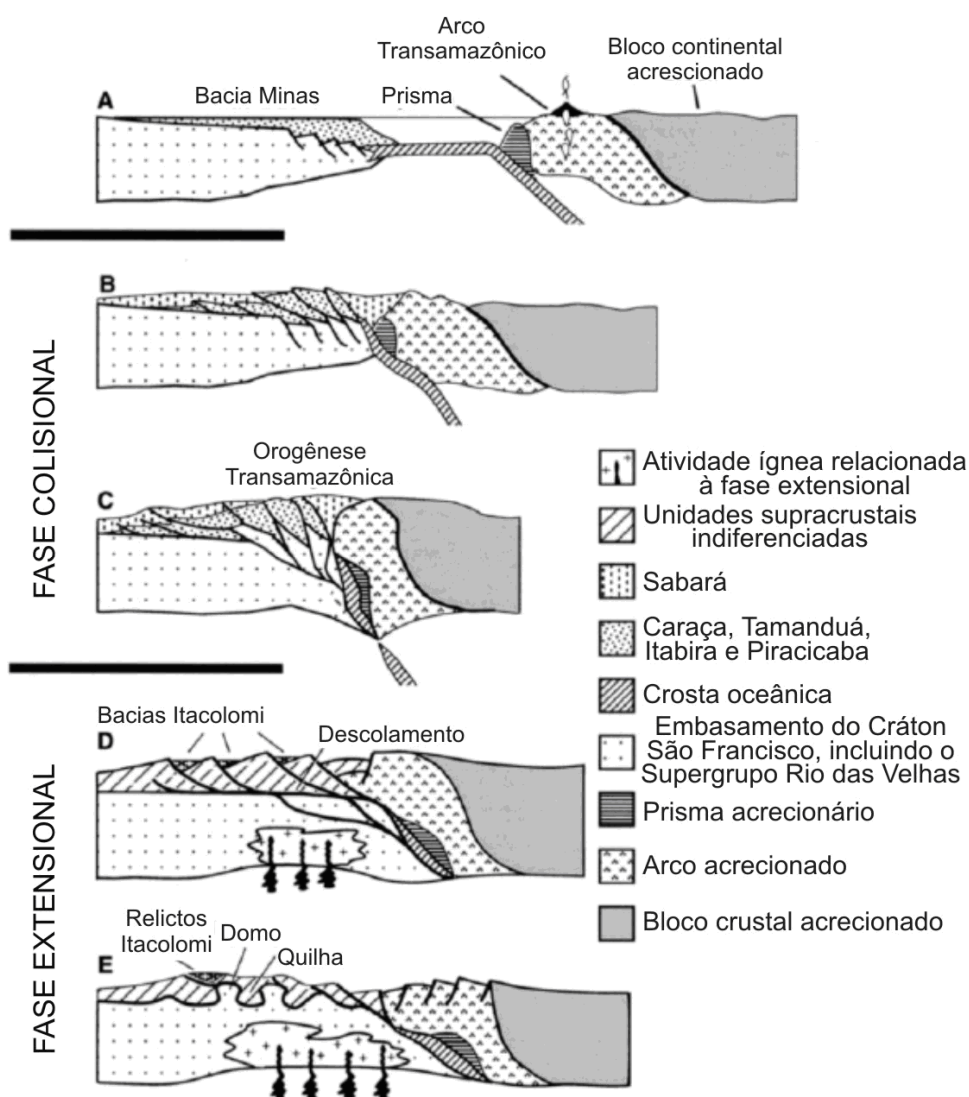


Figura 4.2: Síntese da evolução tectônica do Quadrilátero Ferrífero. (a) Configuração anterior ao evento Transamazônico; (b) etapa inicial da colisão Transamazônica; (c) etapa final da colisão Transamazônica; (d) colapso extensional da cordilheira formada; (e) desenvolvimento final da extensão, com a formação de estruturas em domos e quilhas.

Fonte: Alkmim & Marshak (1998).

O colapso do orógeno Transamazônico e a deposição da seqüência sedimentar intracratônica constituem o 4º evento (figuras 4.2d e 4.2e). A instalação de um enxame de diques máficos, melhor observado na porção

nordeste do QF marca o 5º evento, relacionado ao *rift* Espinhaço. O 6º e último evento, responsável pela geração de estruturas (foliação, dobramentos e falhamentos) vergentes para W, é correlacionado à orogênese Brasileira, responsável pela transposição das estruturas pré-existentes na porção leste do QF.

4.1.2. Estratigrafia e Litotipos

A estratigrafia do QF consiste, em escala regional (figura 4.3), dos seguintes conjuntos maiores (Baltazar, 2005):

- (I) terrenos granito-gnaissicos arqueanos;
- (II) seqüências vulcanossedimentares arqueanas;
- (III) seqüências de coberturas sedimentares e vulcanossedimentares proterozóicas;
- (IV) coberturas sedimentares recentes.

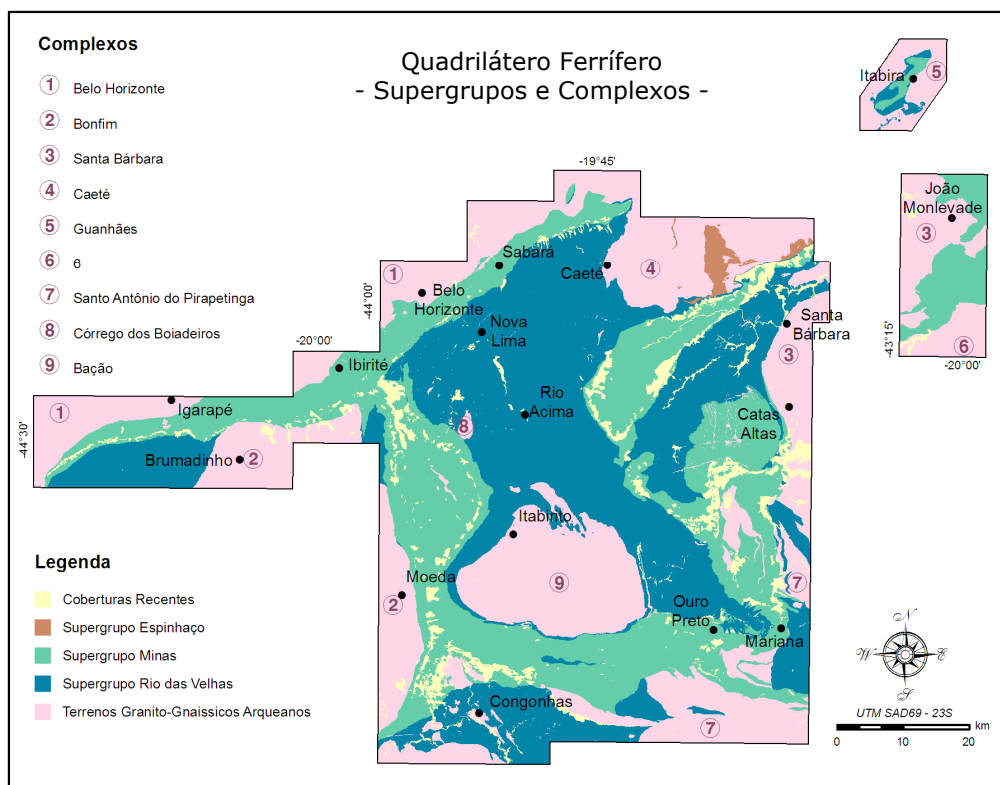


Figura 4.3: Mapa do QF, indicando os principais grupos que compõem a estratigrafia regional e também principais complexos. Fonte dos dados cartográficos: Lobato et al. (2005).

Nos terrenos granito-gnaissicos arqueanos (I) verificam-se rochas de semelhante nome, indiferenciadas, que são referidos informalmente como complexos ígneo-metamórficos, recebendo denominações locais,

conforme proposta de autores diversos. Estão indicados na figura 4.3 os seguintes complexos:

- (1) Complexo Belo Horizonte, ao norte do QF;
- (2) Complexo Bonfim, a oeste do QF;
- (3) Complexo Santa Bárbara, limite leste do QF;
- (4) Complexo Caeté, limite nordeste do QF;
- (5) Complexo Guanhões, na região de Itabira ;
- (6) Complexo Mantiqueira;
- (7) Complexo Metamórfico Santo Antônio do Pirapetinga, ao sul-sudeste do QF;
- (8) Complexo Córrego dos Boiadeiros;
- (9) Complexo Bação;

Os metagranitóides que ocorrem na área de estudo são observados preferencialmente a leste do Sistema de Falhas da Água Quente. A pequena dimensão desses corpos impossibilita a sua representação na escala dos mapas geológicos regionais disponíveis. Os diques máficos dessa região têm largura muito variável, podendo atingir algumas centenas de metros e comprimento da ordem de poucos quilômetros. Essas rochas ocorrem freqüentemente com profunda alteração intempérica, originando um espesso solo vermelho escuro, sendo raramente encontradas amostras frescas (Maxwell, 1972).

As seqüências vulcanossedimentares arqueanas **(II)** correspondem ao Supergrupo Rio das Velhas (SGRV). Segue abaixo coluna estratigráfica simplificada para o SGRV (tabela 4.1), segundo Baltazar (2005):

Supergrupo Rio das Velhas
Grupo Maquiné
Formação Casa Forte
Formação Palmital
Grupo Nova Lima
Grupo Quebra Osso - Indiviso

Tabela 4.1: Coluna estratigráfica resumida do SGRV
(modificado de Baltazar, 2005).

O SGRV é representado pelas rochas dos grupos Nova Lima e Maquiné, uma vez que o Grupo Quebra Osso não ocorre na região de estudo. As rochas atribuídas ao Grupo Nova Lima afloram a leste do traço principal que define o Sistema de Falhas da Água Quente, próximo ao limite oriental da área. Essas rochas constituem principalmente xistos e filitos de protólito sedimentar e vulcânico, com predomínio de xistos cloríticos e sericíticos e subordinadas proporções de metagrauvacas, quartzitos, mármores dolomíticos e formações ferríferas bandadas. O

Grupo Maquiné constitui um pacote composto por xistos, quartzitos e filitos cartografados com base em suas feições litológicas e estruturais (Maxwell,1972).

As seqüências de coberturas sedimentares e vulcanossedimentares proterozóicas **(III)** correspondem ao Supergrupo Minas (SGM). Segue abaixo coluna estratigráfica simplificada para o SGM (tabela 4.2), segundo Baltazar (2005):

Supergrupo Minas
Grupo Sabará - Indiviso
Grupo Piracicaba
Formação Barreiro
Formação Taboões
Formação Fêcho do Funil
Formação Cercadinho
Grupo Itabira
Formação Gandarela
Formação Cauê
Grupo Caraça
Formação Batatal
Formação Moeda

Tabela 4.2: Coluna estratigráfica resumida do SGM (modificado de Baltazar, 2005).

Os metassedimentos do SGM reconhecidos na área podem ser relacionados aos Grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará, devendo-se ressaltar que as rochas do Grupo Tamanduá não estão presentes. As Formações Moeda e Batatal do Grupo Caraça foram reconhecidas nessa região, sendo que os litotipos de granulação fina da primeira, como metarenito sericítico fino, faz contato gradacional com o filito da Formação Batatal (Maxwell, 1972). O contato com o Grupo Maquiné é tectônico, com desenvolvimento de milonitos (Endo, 1997). Filitos grafitosos escuros são os principais representantes da Formação Batatal na área em apreço, ocorrendo entre as litologias da Formação Moeda e da Formação Cauê e segundo Maxwell (1972) mostram espessuras normalmente inferiores a 30m.

Do Grupo Itabira são reconhecidas as formações Cauê e Gandarela. A Formação Cauê ocorre essencialmente representada por itabiritos da fácies óxido, freqüentemente cobertos por uma resistente cobertura de fragmentos de itabirito e hematita cimentados por hidróxidos de ferro, denominada canga (Maxwell, 1972). Localmente ocorrem também *chert* e corpos lenticulares com clorita, talco e anfibólio, não sendo encontrados itabiritos da fácies dolomítica. As rochas da Formação Gandarela afloram

preferencialmente ao longo da Serra de Antônio Pereira. Segundo Maxwell (1972), encontram-se naquele local mármores dolomíticos, com subordinadas porções ferruginosas, silicosas e manganésíferas. A importante mineralização de ouro dessa unidade concentra-se em massas friáveis argilo-arenosas, de coloração vermelho escura a amarelada, originada da alteração intempérica de certos horizontes dessas rochas. A grande susceptibilidade dessas rochas ao intemperismo proporciona a formação de um profundo manto de alteração, que chega a atingir aproximadamente 150m de espessura.

O Grupo Piracicaba compreende as Formações Cercadinho, Fêcho do Funil e Barreiro, uma vez que a Formação Taboões não é encontrada nessa região, enquanto que os quartzitos ferruginosos e filitos sericíticos, subordinadamente grafitosos e manganésíferos da Formação Cercadinho afloram paralelamente às exposições da Formação Cauê (Maxwell, 1972). A complexa estruturação exibida pelo quartzito fino e pelo filito dolomítico da Formação Fêcho do Funil associado ao profundo grau de alteração intempérico que atinge essa rocha proporciona a geração localizada de depósitos de bauxita. A Formação Barreiro é representada por filito grafitoso negro, que aflora ao sul de Santa Rita Durão (Maxwell, 1972).

Na região em consideração afloram filitos, xistos, quartzitos e metatufos, geralmente cobertos por uma densa vegetação do Grupo Sabará. Por fim, os quartzitos e metaconglomerados do Grupo Itacolomi constituem maciços encontrados essencialmente na porção oeste, os quais chegam a atingir mais de 800m de espessura (Maxwell, 1972).

Afloram ainda no QF algumas poucas unidades do Supergrupo Espinhaço (SGE), a N-NW (figura 4.3). Segue abaixo coluna estratigráfica simplificada para o SGE (tabela 4.3), compilada por Costa & Würdig (2007):

Supergrupo Espinhaço
Grupo Conselheiro Mata
Formação Rio Pardo Grande
Formação Córrego Pereira
Formação Córrego da Bandeira
Formação Córrego dos Borges
Formação Santa Rita
Grupo Diamantina
Formação Galho do Miguel
Formação Bandeirinha
Formação Sopa-Brumadinho
Formação São João da Chapada

Tabela 4.3: Coluna estratigráfica resumida do SGE (modificado de Costa & Würdig, 2007).

Os quartzitos e filitos aflorantes do Supergrupo Espinhaço pertencem à formação Cambotas, do Grupo Conselheiro. Os quartzitos finos a médios por vezes apresentam estruturas primárias, tais como estratificações cruzadas e marcas de onda (Lobato *et al.*, 2005); por outras apresenta-se sericítico e arcoseano, ou ainda ferruginosos, com conglomerado mono- ou polimítico na base.

As coberturas sedimentares recentes **(IV)** correspondem a sedimentos cenozóicos. São bastante comuns na região do QFe, preenchendo pequenas bacias tectonicamente controladas, de ampla distribuição geográfica, possuindo representantes desde o Paleógeno até os sedimentos neogênicos mais atuais (Baltazar, 2005).

4.1.3. Geologia Estrutural

Comumente de relevo invertido, as mega-estruturas do QF constituem estruturas antiformais e sinformais, associadas a sistemas de falhas de empurrão e transcorrentes. Dorr (1969) classifica estas estruturas da seguinte forma (figura 4.4):

- Arqueamento Rio das Velhas: Possui extensão superior a 100km, sua 'charneira' descreve um polígono que liga Caeté, Nova Lima, Rio Acima, Usina Rio de Pedras e Mariana.
- Anticlinal de Mariana: É a parte periférica do arqueamento Rio das Velhas e tem eixo N45W.
- Serra do Curral: Homoclinal situado a Norte do QF, com mais de 100km de extensão, está dividida em três segmentos. O primeiro, com direção N50E, vai da Serra da Piedade até a conexão com o Sinclinal da Moeda. O segundo, de direção N70E, que compreende a região entre o fim do primeiro até a cidade de Itatiaiaçu. E o terceiro vai da referida cidade à extremidade oeste desta Serra, este é o menos expressivo (aproximadamente 25km) e direção EW.
- Sinclinal Gandarela: Situado à nordeste, tem direção E-W e é dividido em dois segmentos, o segmento leste, de eixo com caimento para NE e o segmento oeste, de eixo com caimento para SW.
- Sinclinal Santa Rita: Com orientação aproximadamente N-S com posterior dobramento para SW, delimita parcialmente o QFe a leste (Sinclinal Conta História). O Sinclinal Ouro Fino é definido como um sinforme pequeno e redobrado.
- Sinclinal Vargem do Lima: De orientação NNW-SSE, localiza-se a sudoeste do Sinclinal Gandarela.

- Sinclinal Dom Bosco: Com orientação EW, localiza-se ao Sul do QFe, marcado por uma complexa estruturação oriunda de falhas de empurrão e rasgamento associadas à tectônica de inversão Brasileira.

- Sinclinal-Moeda: Com direção N45W, na parte norte, inflectindo-se para NS. Com aproximadamente 40km de extensão, vai desde a sua conexão com a Serra do Curral até o Sinclinal Dom Bosco.

- Falha do Engenho: Caracterizam-se pelo conjunto de falhas direcionais com movimento dextral e sinistral e direção EW e SW.

- Sistema de falhas Cambotas-Fundão: Sistema de falhas com direção NW-SE associados à falhas de empurrão.

No âmbito da geologia estrutural local, merece destaque o posicionamento invertido das litologias, quando comparado ao encontrado na maior parte do Quadrilátero Ferrífero. Essa inversão pode ser explicada pela atuação do Sistema de Falhas da Água Quente, responsável pela formação de um pequeno sinclinal, com flanco leste invertido, localizado nas proximidades dessa falha que é contígua ao Anticlinal de Mariana (Metal Data, 2004).

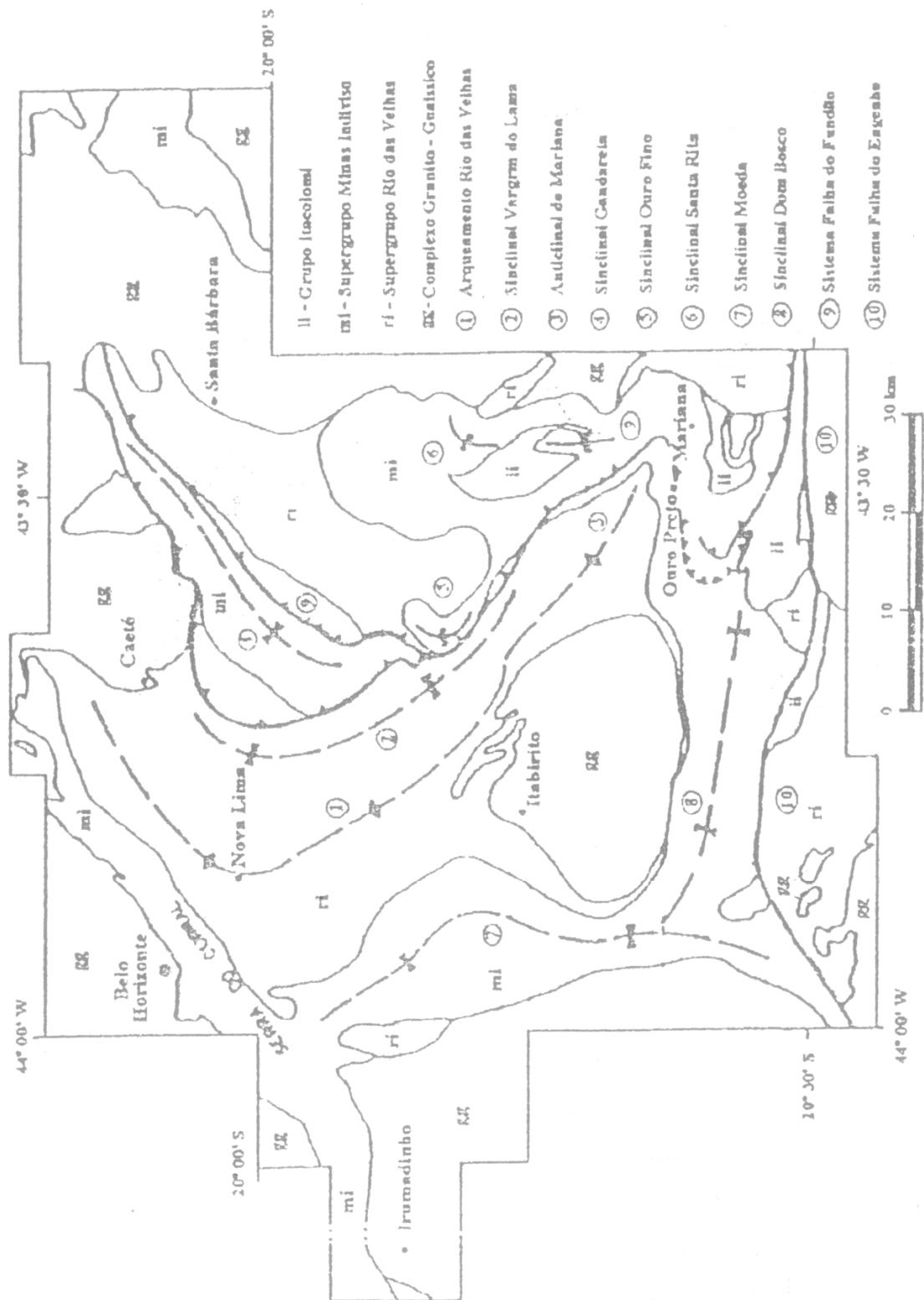


Figura 4.4: Localização das principais estruturas do QFe.

Fonte dos dados cartográficos: Silva (1999).

Capítulo 5. Metodologia e Desenvolvimento

Baseando-se em dados geológicos e geográficos de diversas fontes (como, por exemplo, mapeamentos anteriores, IBGE, CPRM, CODEMIG, entre outros), uma das maiores dificuldades está na obtenção destes em uma configuração cartográfica comum (mesma projeção e datum). A partir daí, procedimentos de geoprocessamento fazem-se necessários para que se torne possível interpretar as informações e relações geradas. Os passos deste trabalho envolvem:

- Levantamento de dados;
- Geoprocessamento;
- Interpretação.

O levantamento de dados segue alguns princípios necessários. Devem ser utilizados materiais, tanto cartográficos (geológicos e geográficos) como textuais, publicados em fontes conhecidas, com o mínimo de confiabilidade. Os dados utilizados para o desenvolvimento desse trabalho são:

- Modelo Digital de Elevação do SRTM
- Imagem *Ikonos*
- Aerogeofísica
- Mapeamentos antigos
- Dados de mapeamento deste trabalho

O geoprocessamento exige um conjunto de softwares específicos. No caso do presente trabalho, foi utilizado o *ArcGIS*® 9.2, pois é o *software* disponível no laboratório do Departamento de Geologia da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) e um dos mais aceitos e difundidos no nosso meio acadêmico. O programa supre a maioria das necessidades desta fase permitindo a compatibilização de dados e a integração dos mesmos. À exceção dos dados geofísicos, que foram trabalhados em ambiente *Geosoft*® pela Profa. Dra. Maria Silvia Carvalho Barbosa (UFOP, Universidade Federal de Ouro Preto), cedidos em formato de imagem, já com o devido tratamento e prontas para serem interpretadas.

A etapa de interpretação se dá justaposta à integração de dados. Observando-se as inter-relações entre os diversos meios de apresentar as mesmas informações, para que existam melhores formas de se observar a combinação dos dados pertinentes à localização de possíveis alvos.

5.1. Levantamento Bibliográfico

O levantamento de dados anteriores serve de embasamento sobre as possíveis teorias de evolução da geologia regional e local, a partir da seleção de artigos buscados em bibliotecas, periódicos e outras publicações. Através de uma avaliação e interpretação dos dados verificam-se quais idéias apresentadas são aquelas com melhor e/ou maior aceitação, além das que melhor se adequem ao presente trabalho.

O levantamento de materiais já preparados teve início pela publicação, bastante conhecida de John Van Dorr II, intitulada *"Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais, Brazil"*, o paper 641-A publicado pela USGS (United States Geological Survey), datado de 1969. Junto dela há, além de toda a descrição geológica do Quadrilátero, também uma série de mapas geológicos, da qual especificamente a carta Antônio Pereira (correspondente à carta Mariana SF.23-X-B-3 do IBGE) abrange a área em questão. Esta - e as outras cartas - foram e são utilizadas até hoje como base de qualquer mapeamento no Quadrilátero.

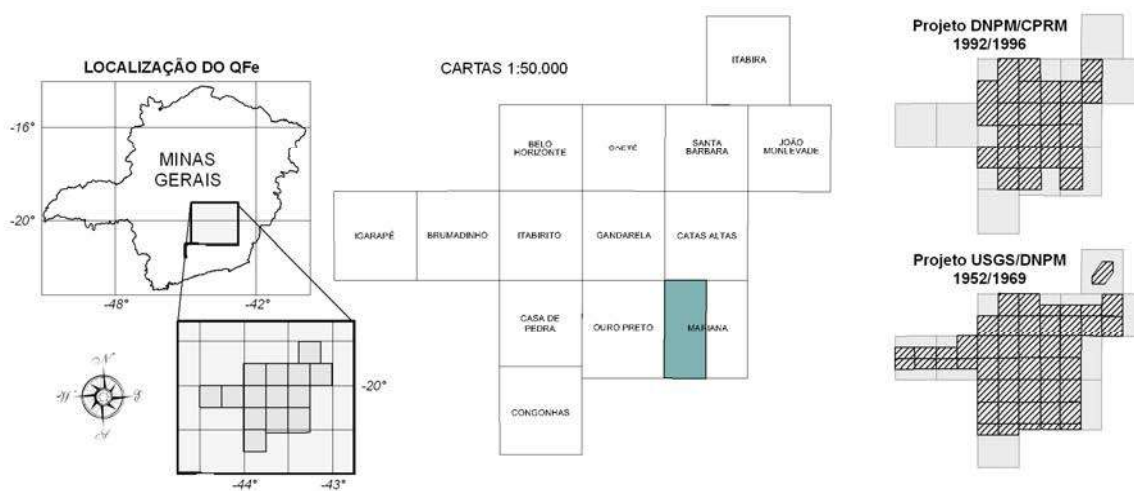


Figura 5.1: Localização das Cartas topográficas utilizadas no projeto "Integração e Correção Cartográfica", da CODEMIG. Fonte: Lobato et al. (2005).

A segunda fonte de bibliografia levantada refere-se a um material da CODEMIG, em conjunto com a UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais) e o Governo de Minas, intitulado de "Integração e Correção Cartográfica em SIG" (Lobato et al., 2005). O referido trabalho também se baseia nas referências de John Vahn Dorr II, utilizando-se de suas cartas, em conjunto com outros mapeamentos existentes até a data da

publicação (figura 5.1) - em 2005, para integrar todas essas informações em um mapa único.

A publicação do PLGB (Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - executado pela CPRM) referente à área é a Folha Mariana, na escala de 1:100.000. Junto do mapa há um livro de descrição da geologia referente à folha SF.23-X-B-I, servindo também de apoio sistemático ao trabalho. Ambos foram de utilidade para o embasamento do trabalho.

Alguns artigos levantados em revistas (de geologia, de sensoriamento remoto, de cartografia, entre outras), periódicos (tais como *Pergamon*, *PreCambrian Researchs*, entre outros) e publicações reconhecidamente confiáveis e de renome (como *websites* de instituições como USGS, NASA, entre outros), embora sem mapas, foram utilizados para diversos pontos de esclarecimento ao longo do trabalho. Dentre estes se destacam os de Maxwell (1972) e Metal Data (2004). Alguns na área de estratigrafia e geologia histórica, outros em geocronologia e geotectônica, outros ainda para geologia econômica e afins.

5.2. Geoprocessamento

O geoprocessamento insere-se como a principal ferramenta para auxílio do manuseio das informações de tal forma que a combinação das mesmas não seja empecilho em nenhum momento do processo de *survey*. Com a facilidade que se adquire quando todos os dados estão compatibilizados e em um único banco de dados, o problema de maior porte passa a ser a interpretação, e não mais o manuseio dos mesmos.

No presente trabalho adotou-se como sistema de coordenadas único o métrico, mais conhecido com UTM (*Universal Transverse of Mercator*), zona 23S (fuso 23 do hemisfério sul). Como *datum* definiu-se que as informações deveriam todas estar em SAD69 (*South American Datum* 1969). Dados que não se enquadrassem nestes parâmetros selecionados foram reprojatados para que o banco de dados tivesse alimentação uniforme.

5.2.1. Trabalhos Anteriores

Basicamente três fontes de mapeamentos anteriores foram consultadas: Dorr (1969), Metal Data (2004) e Lobato *et al* (2005), as quais possuem mapas geológicos e textos explicativos sobre os mesmos.

O trabalho do Dorr (1969) resulta de uma série de pesquisas do USGS, sendo, portanto, uma compilação de trabalhos ao longo de

aproximadamente 15 anos, constando ainda que pouco é alterado até hoje do trabalho, no tocante à geometria das feições geológicas (sejam contatos, falhas, ou mesmo dimensões das litologias).

O Relatório Interno da empresa Metal Data (2004) para a área em questão, foi cedido para consultas pela mesma, de modo a acrescentar mais uma visão mais empreendedora. Foram aproveitados dados de campo, levantamentos bibliográficos e levantamentos econômicos (como tipos de minérios, histórico legal, entre outros).

O trabalho de Lobato *et al* (2005) refere-se a um convênio da CPRM realizado em conjunto com a UFMG, a CODEMIG e o Governo de Minas Gerais, onde se teve por objetivo realizar uma unificação entre duas das principais linhas de mapeamento até então realizadas no quadrilátero (figura 5.1): os mapas de Dorr (1969) para o SGM, e os trabalhos de mapeamento da CPRM (1992-1996) para o SGRV. O primeiro tinha enfoque econômico em minério de ferro, enquanto o segundo detalhava ambientes favoráveis à mineralizações de metais nobres.

O georreferenciamento e a compatibilização das referências geográficas dos dados para o presente trabalho é considerado fator essencial para o bom manuseio das informações pelo usuário final. Para tal, por vezes, foram necessárias reprojeções - em convenção tanto das coordenadas (geográficas ou métricas) como em data. As reprojeções foram feitas dentro do ambiente *ArcGIS® 9.2*, onde as ferramentas do programa possuem os parâmetros de cálculo necessários para as conversões que se desejar realizar (sejam estas de projeções - geográfica para UTM e vice-versa - ou de datum).

5.2.2. Sensoriamento Remoto

A interpretação de sensor remoto se deu com base em imagem do tipo Ikonos. O Ikonos, de acordo com o site do Instituto de Geofísica da Universidade do Alasca em Fairbanks, foi o primeiro satélite imageador do seu tipo, que consegue coletar simultaneamente imagens em preto e branco com o mínimo de 1 metro de resolução, e imagens coloridas, multiespectrais, com mínimo de 4 metros de resolução. Projetado para captar imagens digitais da terra a partir de 680km de altitude e com taxa de movimentação de 7km/s.

A imagem Ikonos multiespectral utilizada no trabalho foi captada em 2001, sendo extraídos dados de uso do solo - mais especificamente compartimentação da vegetação, a partir de interpretação manual. Fornece ainda subsídio para interpretação geomorfológica e estrutural.

5.2.3. SRTM

O SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) foi uma missão realizada em conjunto pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) com a NGA (*National Geospatial Intelligence Agency*) na tentativa de obter um modelo digital do terreno da Terra, de modo a gerar uma base topográfica digital completa e de alta resolução (USGS website - <http://seamless.usgs.gov/>). A missão efetuada em fevereiro de 2000 utilizou-se de um radar modificado que foi carregado, navegando a bordo na nave espacial *Shuttle Endeavour*. Para que os dados de altimetria estereoscópica fossem captados, a missão contou com dois refletores de antenas de radar, separados um do outro por 60 metros (graças a um braço mecânico que ampliava a envergadura da espaçonave).

Segundo a USGS, a resolução espacial das células nos dados-fonte é de 1 arco segundo (1"), mas é divulgado com esta resolução apenas sobre os Estados Unidos; para o resto do mundo é de 3". A missão coletou medidas 3-D da superfície terrestre usando interferometria. A interferometria é um método que compara duas imagens de radar tomadas de pontos ligeiramente diferentes para obter elevação ou informação de mudanças na superfície - e com isso pode-se criar modelos digitais de elevação (MDE) através da combinação destas imagens (CGIAR-CSI website - <http://srtm.csi.cgiar.org/>).

Segue abaixo tabela (5.1) contendo as configurações originais dos dados do SRTM:

Resolução	3" ($\pm 90\text{m}$)
Projeção	Geográfica
Datum Horizontal	WGS84
Datum Vertical	WGS84, geóide EGM96
Unidades Verticais	Metros

Tabela 5.1: Configurações dos dados originais do SRTM.

Fonte: USGS website (<http://seamless.usgs.gov/>).

Este material pode ser retirado diretamente no website da USGS (USGS website - <http://seamless.usgs.gov/>), já com todo tratamento necessário para que não haja interferência de corpos d'água ou qualquer outro tipo de falta de informação (por exemplo, alterações atmosféricas).

5.2.4. Geofísica

A geofísica utilizada no presente trabalho é original do programa de aerolevantamento do CPRM, datado de 2001 (Área 2 – Pitangui, São João Del Rey e Ipatinga). O convênio da CODEMIG junto a CPRM levantou no referido ano, dados magnetométricos e gamaespectométricos em linhas de voo com altitude de 100m e espaçamento entre elas de 250m, captando informações de alta densidade e precisão (CODEMIG *website* - <http://www.comig.com.br>).

Os dados do referido convênio foram tratados e transformados em *raster* para devida visualização e interpretação, em ambiente *Geosoft*® pela Profa. Dra. Maria Silvia Carvalho Barbosa, especialmente para o presente trabalho.

5.2.4.1. Magnetometria

A Terra possui um campo magnético próprio, onde as linhas de fluxo deste campo seguem aproximadamente nossos pólos geográficos. Esse campo magnético total é resultado do somatório das anomalias pontuais ao longo de toda a Terra, que são campos magnéticos locais (ON *website* - http://www.on.br/pergunte_astro).

A magnetometria estuda as variações locais ou globais do campo magnético da Terra, possibilitando assim delimitar regiões ou campos isomagnéticos, de especial interesse para a prospecção de rochas contendo minerais com forte susceptibilidade magnética. As amplitudes das anomalias magnéticas são mensuradas em diferentes faixas, com base no background da região em estudo. Devem ser consideradas anomalias quando o magnetismo local encontra-se acima ou abaixo desse valor esperado.

Quando se fala em assinatura magnética (faixa de valores relativamente constantes), refere-se a zonas anômalas que sejam semelhantes em amplitude e feições, indicando distribuição de minerais com mesma susceptibilidade magnética.

Todas as imagens magnetométricas geradas tiveram saída em geotiff (imagem do tipo *.tiff mas que mantém as suas referências espaciais para que possa ser posicionada corretamente em ambientes de geoprocessamento) e em sistema RGB (falsa cor) e têm origem na imagem do campo magnético já reduzido do IGRF. À exceção da imagem corrigida para o IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*), todas as outras três (ASA - amplitude do sinal analítico, Dx - 1ª derivada

horizontal na direção X, e Dz - 1ª derivada vertical) têm como unidade de medida a razão nT/m; a unidade do IGRF é nT (nano-Tesla).

(a) Amplitude do Sinal Analítico (ASA)

A amplitude do sinal analítico resulta em imagens onde os picos são independentes de fatores que não sejam o corpo magnético, permitindo interpretar a posição das bordas das fontes geradoras desse sinal, assinatura e geometria.

(b) Campo Total

Para que a interpretação da imagem gerada seja mais precisa e correta em caso de áreas de pesquisa em escalas muito menores (locais), coerentes com o detalhamento necessário à delimitação de corpos de minérios, faz-se necessário um cálculo para que seja descontada influência do campo magnético total (remoção dos comprimentos de onda longos), ou IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*), do valor final. Esse passo é feito para que não sejam mascaradas as informações da realidade geofísica da área, além de diminuir o número de caracteres para facilitar procedimentos computacionais.

O IGRF é a referência de campo geomagnético teórico internacional. É o modelo mais conhecido, calculado com base em dados de satélite e dados terrestres coletados ao longo de todo o mundo. Através do uso dele é possível selecionar valores dos vetores do campo geomagnético, um conjunto específico, e este ser calculado para qualquer ponto desejado da superfície terrestre (IUGG website - <http://www.iugg.org>). O IGRF geralmente é revisado e recalculado a cada cinco anos por um grupo de profissionais associados à IAGA (*International Association of Geomagnetism and Aeronomy*).

O IGRF precisa inicialmente da entrada de alguns parâmetros. Ele requer a latitude e a longitude do ponto que se deseja os valores do campo geomagnético, e se as mesmas são geodésicas ou geocêntricas (BGS website - <http://www.geomag.bgs.ac.uk>). O cálculo resulta no valor do campo geomagnético terrestre e nas suas taxas de variações (seculares) locais, sem interferência do campo global.

(c) Gradiente Horizontal de 1ª Ordem em X (Dx)

A imagem RGB do gradiente horizontal em X (Dx), ou primeira derivada horizontal em X, tem a propriedade de demonstrar visualmente

os limites das anomalias da leitura no sentido do eixo X; ou seja, as anomalias delimitadas na imagem final tendem a ser marcadores de feições que sejam perpendiculares a X (das bordas dos corpos anômalos, das falhas, dobras, etc).

(d) Gradiente Vertical de 1ª ordem (Dz)

A imagem magnetométrica de campo total foi processada através da aplicação de filtro de alta frequência de derivada vertical, realçando assim as assinaturas magnéticas de corpos mais rasos. Especificamente um filtro de 1ª derivada vertical indica trends magnéticos de menor comprimento de onda, ajudando a definir estruturas do tipo dobras e falhas (Garcia, 1998).

5.2.4.2. Gamaespectrometria

A gamaespectrometria é um método indireto de *survey* que tem por finalidade mensurar a abundância relativa ou a concentração de todos os radioelementos, e em especial K, U e Th em rochas e materiais intemperizados, através da detecção da radiação gama emitida pelo decaimento radioativo natural destes. É uma técnica geofísica que requer considerações de algumas variáveis (Minty, 1997 apud Ferreira & Souza, 2002), por exemplo:

- contrastes das propriedades físicas e geométricas das fontes radioativas;
- tamanho e resolução dos detectores;
- efeitos do meio-ambiente, como umidade do solo, vegetação e regime de chuvas;
- movimento das fontes aéreas de radiação na atmosfera baixa, dentre outras.

A interpretação de dados gamaespectrométricos requer também o entendimento de princípios físicos básicos e um monitoramento eficiente da aquisição dos dados, no processamento e nos procedimentos de apresentação dos resultados. Também é preciso considerar as condições de desequilíbrio radioativo que ocorrem nas séries de decaimento do urânio, bem como os comportamentos geoquímicos do potássio, do urânio e do tório no meio ambiente.

Uma série de correções é necessária para que se possa gerar os produtos finais de um levantamento aerogamaespectrométrico. As principais são: redução da radiação de fundo atmosférico (background), correção do efeito Compton, correção altimétrica e correção do tempo

morto. Deve-se ainda, na interpretação de dados, considerar os efeitos ambientais que podem influenciar o espectro de raios gama.

A maior parte dos elementos que pertencem às séries radioativas naturais apresenta número atômico entre 81 e 92. Os elementos U, Th e K são de ocorrência natural cujos radioisótopos produzem raios gama com energia suficiente para sejam mensurados em aerolevantamentos gamaespectrométricos. Na aerogamaespectrometria, o ^{40}K é medido diretamente pelo decaimento do ^{40}Ar (Ferreira & Souza, 2002). As concentrações de U e Th já são mais complexas, uma vez que ^{232}Th e ^{238}U decaem totalmente em séries de núclídeos-filho, até alcançar os isótopos estáveis de Pb (Ferreira & Souza, 2002).

Na interpretação das imagens resultantes verifica-se que se as rochas expostas ou a camada de cobertura é representativa da rocha subjacente, as medidas radiométricas podem ser relacionadas com as unidades geológicas da área e fornecem indicações sobre os contatos geológicos. As falhas e fraturas, por exemplo, são estruturas que permitem a circulação de fluidos ao longo delas, e quando esses fluidos são radioativos poder-se-ão observar anomalias sobre elas. Vale ressaltar ainda que as medidas das anomalias são captadas dos 20cm superiores do solo.

(a) Contagem Total (CT)

A imagem gamaespectrométrica referente à resposta do canal CT é resultante da contagem indiscriminada dos raios gama da área no tocante a intensidade energética dos mesmos. Ou seja: é um somatório das contagens de ciclos por segundo (cps) dos canais de tório (Th), urânio (U) e potássio (K), abrangendo-os todos, bem como a quaisquer outros elementos radioativos presentes. É o mesmo que fazer a contagem da frequência de raios gamas emitidos.

(b) Canal Tório (Th)

A imagem gamaespectrométrica referente a resposta do canal Th representa a medida do referido elemento em ciclos por segundo (cps), ou seja: a frequência com que consegue-se captar sinais referentes aos raios gama liberados quando do decaimento.

(c) Canal Urânio (U)

Assim como a imagem para o canal Th, o raster gerado é resultado da resposta do canal U a medida do referido elemento em cps, ou seja: a frequência com que se consegue captar sinais referentes aos raios gama liberados quando do decaimento.

(d) Canal Potássio (K)

E como não deveria ser diferente, o canal K dá origem a uma imagem onde a medida do referido elemento em cps é equivalente à frequência com que se captam sinais referentes às intensidades de energia - inerentes a este canal - dos fótons componentes dos raios gama, liberados quando do decaimento.

(e) Mapa Ternário

No mapa ternário são apresentados simultaneamente os canais K em ciano, U em magenta, e Th em amarelo. Esse tipo de mapa está, portanto, num sistema de cores CMYK, observando-se que em áreas onde predomine apenas o K são ciano; tons azulados representam misturas iguais de K e U; tons esverdeados representam misturas iguais de K e Th; áreas onde predomine U são magenta; áreas onde predomine Th são amarelo e tons avermelhados são misturas iguais de U e Th. A presença de todos os três elementos em quantidades iguais resultará em preto caso sejam valores altos de todos, e branco quando existe a ausência deles.

5.3. Mapeamento Geológico de Campo

Os dados de campo foram obtidos como última fase do presente trabalho, considerando-se que o intuito do trabalho é justamente minimizar esta etapa do levantamento. O reconhecimento geológico de campo foi realizado no período de 02 a 19 de fevereiro de 2008. A pesquisa se deu com dois focos principais:

- (i) confirmar os litotipos até então pesquisados na bibliografia, e confirmar as feições estruturais identificadas tanto nos mapeamentos prévios como nas imagens geofísicas;
- (ii) coletar pontos notáveis para georreferenciamento da imagem Ikonos com o uso de aparelho GPS (modelo GARMIN Etrex) para o ajuste e posicionamento preciso da imagem e de

mapeamentos antigos, bem como a correção do SRTM, objetos da integração geológica.

Após a interpretação e alocação de feições notáveis, verifica-se a necessidade de visita de campo para confirmação das mesmas. Sejam estas feições atribuídas às possíveis falhas, dobras ou contatos, dúvidas quanto ao litotipo, ou até mesmo grandes anomalias positivas para minério de ferro (como no presente caso). O importante é que se deve selecionar áreas específicas a serem visitadas, para que não haja um grande desperdício de tempo, dinheiro e profissionais.

Os pontos de controle, tanto para o georreferenciamento da imagem Ikonos como para o ajuste do SRTM, foram coletados em pontos notáveis, visíveis/identificáveis na imagem Ikonos, para que pudesse ser feito o encaixe mais perfeito possível. Para o SRTM ainda podemos considerar o levantamento de alguns pontos em divisores de água (ao sul da área) como controle.

Com base na geologia regional apresentada anteriormente (capítulo 4) e nos levantamentos de campo realizados, verifica-se que a área está inserida no limite entre os domínios ocidental e oriental do compartimento leste do QF, conforme definido por Endo (1997) (figura 4.1). As estruturas mais importantes dessa região são (figura 4.4): o Sistema de Falhas da Água Quente (SFAQ), que tem direção meridiana e vergência para W (Ferreira Filho, 1999), o Sinclinal redobrado de Santa Rita (SSR), que tem seu eixo aproximadamente orientado segundo a direção N-S (Maxwell, 1972) e o Anticlinal de Mariana (AM), que constitui a parte periférica do arqueamento Rio das Velhas e tem seu eixo orientado segundo a direção NW-SE, (Dorr, 1969).

A intrincada estruturação tectônica encontrada nessa área se deve à forte influência do Sistema de Falhas da Água Quente (Maxwell, 1972). Esse sistema de falhas de expressão regional é marcado por um lineamento de orientação meridional que se conecta ao sul com a Falha do Engenho e ao norte com a Falha do Fundão, podendo ser cartografado por mais de 50km, desde o sul da cidade de Mariana até pelo menos a cidade de Santa Bárbara (Ferreira Filho, 1999).

Ressalta-se ainda a importância dessa região quanto à produção de minério de ferro, encontrando-se ali grandes minas deste minério, como as de Alegria, Timbopeba, Fábrica Nova e Fazendão, que compõem o Complexo Mariana da Companhia Vale do Rio Doce, responsáveis pela produção de 19 milhões de toneladas no ano de 2004, com reservas totais de 1,2 bilhões de toneladas (Metal Data, 2004).

No âmbito da geologia estrutural, devem ser ressaltados dois pontos principais: o posicionamento estratigráfico inverso das litologias

encontradas e a presença sistemática de dois sistemas de cisalhamento que normalmente assumem posições ortogonais entre si. O sistema mais proeminente é configurado pelas falhas de empurrão N-S, paralelas à Falha de Água Quente. O segundo sistema não é caracterizado em mapa, ocorrendo apenas em escala de afloramento, denotando movimento de transcorrência sinistral com direção E-W (Metal Data, 2004).

Os gnaisses do Complexo Santa Bárbara, representantes do substrato cristalino da região, não ocorrem no interior da área. Biotita gnaisses com bandamentos centimétricos, afloram em drenagens encontradas a cerca de 1,5km a leste da área, nas vizinhanças de Camargos. Os gnaisses desse complexo ocupam uma ampla extensão a leste desta cidade, constituindo o litotipo predominante da região.

Litotipos do Supergrupo Rio das Velhas também ocorrem no interior da área e afloram segundo uma faixa estreita de orientação N-S, limitada a leste pelos gnaisses do embasamento e a oeste pelos metassedimentos do Supergrupo Minas.

No interior da área foram reconhecidos três diferentes conjuntos de metassedimentos que podem ser relacionados respectivamente a três unidades formalmente reconhecidas no QF (figura 5.2): Grupos Caraça, Itabira e Piracicaba, do Supergrupo Minas, uma vez que os metassedimentos do Grupo Sabará só afloram além do seu limite oeste. A sul e sudoeste de Camargos, ocorrem clorita xistos e quartzo-sericita xistos, intimamente intercalados a rochas máficas relacionados ao Grupo Nova Lima.

A elevada complexidade estrutural aliada à pequena espessura estratigráfica do Grupo Caraça na área e à sua homogeneidade composicional não permitiu a subdivisão dessas rochas nas tradicionais formações Moeda e Batatal. Os metassedimentos terrígenos do Grupo Caraça foram cartografados na porção leste da área, ao longo de uma faixa de direção N-S. O contato entre as rochas da base dessa unidade e as do Supergrupo Rio das Velhas é tectônico, por zonas de cisalhamento reversas. O contato de topo comumente é gradacional, com deslizamento intraestratal localizado (Metal Data, 2004) e raramente observa-se contato tectônico entre o Grupo Caraça e os Grupos Itabira e Piracicaba.

O principal litotipo dessa unidade é o filito, que dependendo da sua composição e do seu grau de alteração pode apresentar-se nas cores cinza claro a cinza escuro, marrom, amarelo, alaranjado e branco. Esses filitos são mineralogicamente compostos por sericita e quartzo sacaroidal normalmente muito fino, podendo localmente mostrar enriquecimento em clorita, grafita, hematita, magnetita e granada, sendo que esses dois

últimos são sintectônicos, pois crescem sobre a foliação principal da rocha e constituem obstáculos para a sua crenulação.

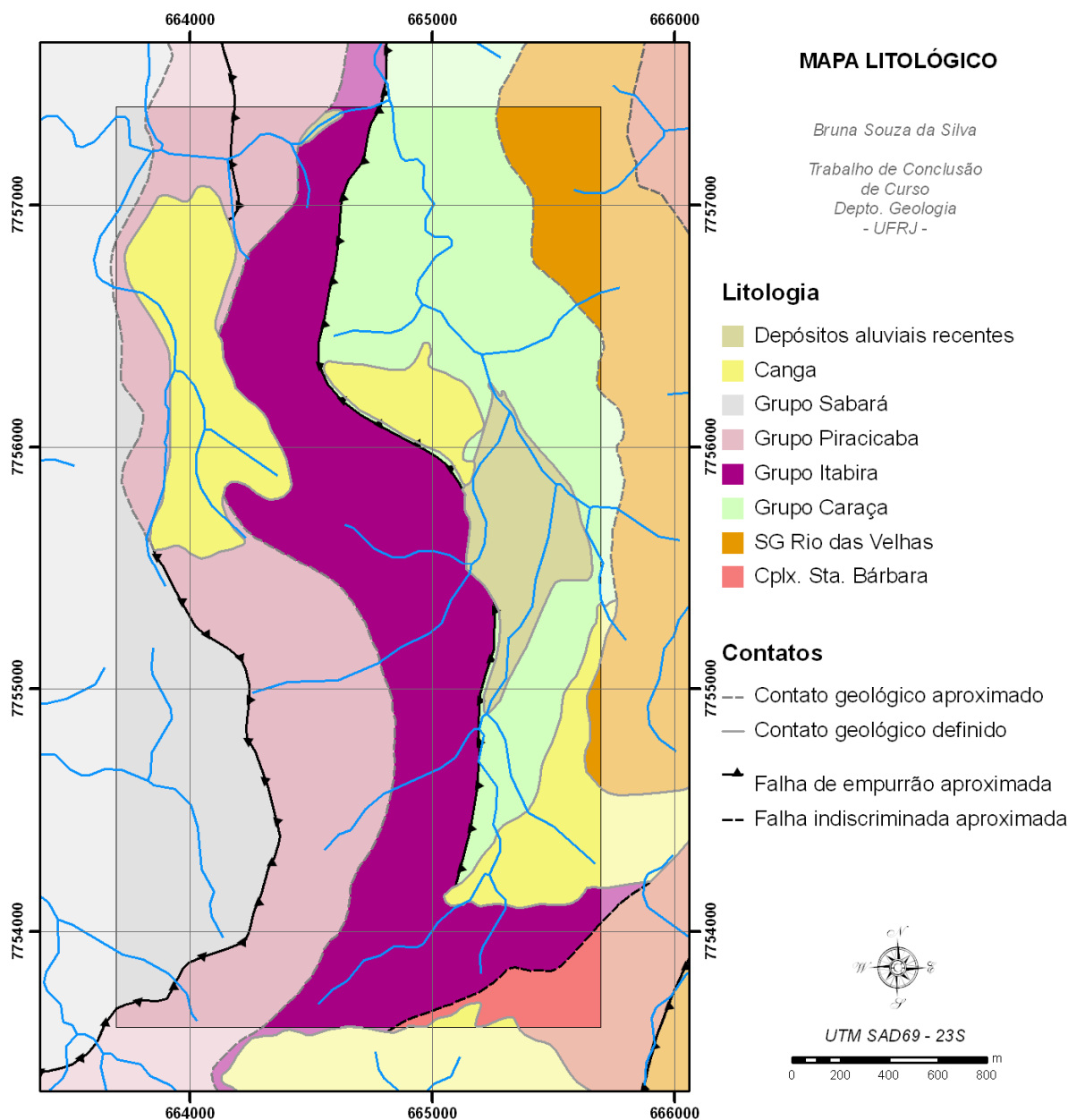


Figura 5.2: Mapa litológico da área de estudos, na região de Mariana.
Fonte dos dados cartográficos: Lobato et al. (2005).

Lentes de quartzito sericítico branco e homogêneo, com textura fina a média foram observadas intercaladas aos filitos. Essas rochas por vezes exibem estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte (com comprimento de onda de poucos decímetros), que apresentando curvatura voltada para baixo, indicando que a camada encontra-se em posição invertida.

Observam-se localmente camadas de conglomerado, com seixos de até 10 cm de quartzito e de quartzo venular bem arredondados, deformados e contornados pela foliação desenvolvida na matriz. Tal camada encontra-se próximo das rochas do Supergrupo Rio das Velhas, o que sugere tratar-se de um representante das porções basais do Grupo Caraça. O topo desse grupo é, por sua vez, marcado pelo enriquecimento em óxido de ferro, atestando o contato gradacional entre os grupos Caraça e Itabira (Formação Cauê), conforme foi sugerido por Maxwell (1972) para essa região.

Na área os metassedimentos químicos do Grupo Itabira são representados apenas pelos itabiritos da Formação Cauê, normalmente cartografados nos seus pontos mais elevados, variando desde a cota 1020m até a cota 770m, o que resulta numa espessura aflorante de cerca de 250m. Os maiores corpos dessa unidade concentram-se preferencialmente nas porções central e sul da área, definindo uma faixa de direção NNW-SSE.

Conforme já descrito anteriormente, esse conjunto de rochas faz contato gradacional com as litologias do topo do Grupo Caraça. O contato com as rochas da base do Grupo Piracicaba é encoberto por uma espessa cobertura de solo vermelho (Metal Data, 2004), onde é comum o desenvolvimento de matas densas, podendo representar a alteração das rochas da Formação Gandarela.

O principal litotipo encontrado nessa Formação foi o itabirito da fácies óxido, sendo localmente observados corpos de hematita e itabiritos da fácies anfíbolítica. Todo esse conjunto de rochas pode ser encontrado em uma ampla faixa de graus de alteração e variam desde frescos até intensamente alterados por intemperismo.

Os itabiritos da fácies óxido são finamente bandados, densos, magnéticos e negros, podendo localmente ser encontrados com tonalidades variadas de cinza. Esses itabiritos são predominantemente compostos por bandas de porte milimétrico de hematita/magnetita e bandas com espessura semelhante, de quartzo.

Nessa rocha os cristais de hematita e magnetita são muito finos, ocorrendo localmente com porte centimétrico, forte brilho metálico e hábito subédrico, sendo os octaedros de magnetita levemente deformados. Os cristais mais grossos de quartzo presentes no bandamento são brancos e têm textura sacaroidal. Hidróxidos de ferro são comumente encontrados nas porções mais alteradas por intemperismo, chegando a formar agregados botrioidais de goethita e massas alaranjadas de limonita. A presença de manganês é evidenciada pela reação química entre itabirito e água oxigenada (H_2O_2).

Pequenas camadas de hematita compacta ocorrem irregularmente distribuídas pela área. Esse minério é muito denso, tem textura maciça e cor cinza, por vezes com matizes azuladas, sendo composto por finos cristais de hematita e magnetita. Lentes de hematita são observadas paralelamente ao bandamento dos itabiritos, mais raramente atravessando o mesmo, sendo assim interpretadas como produto de falhas (Metal Data, 2004).

Os itabiritos da fácies anfibolítica foram observados em poucos pontos localizados na porção sul da área, onde afloram sempre intemperizados. São caracterizados por apresentar bandamento composicional marcado pela alternância entre níveis de quartzo alternados e níveis de cor ocre. Raramente notam-se pseudomorfos aciculares dos cristais de anfibólio pré-existent.

A atuação do intemperismo é positiva, uma vez que este abranda a rocha e promove o enriquecimento supergênico do minério, por lixiviação de parte da sílica e dos carbonatos, elevando os teores médios de Fe para uma faixa entre 50-62% (Metal Data, 2004).

A associação entre o grau de enriquecimento supergênico e o contexto estrutural da mineralização proporciona o surgimento de diferentes tipos de minério, já conhecidos em diversas minas da região. Dessa forma, são reconhecidos na área os itabiritos chapinha e friável, as cangas estruturada, detrítica e laterítica e os depósitos incoesos de origem eluvionar e coluvionar.

O itabirito chapinha compreende um dos tipos de minério mais abundantes na área. Este ocorre distribuído ao longo de toda a camada da formação ferrífera, em uma ampla parte da área, constituindo ainda a principal litologia dos morros mais elevados da área. Esse itabirito é bastante denso e tem cor cinza, por vezes com tonalidades azuladas. Normalmente essa rocha pode ser quebrada com relativa facilidade, rompendo-se nos planos do bandamento e originando placas com cerca de 5-10cm de comprimento por 3-5cm de largura e 1-3cm de espessura (Metal Data, 2004). O quartzo presente nessa rocha apresenta-se sacaroidal e se esfarela na mão, apresentando, portanto, uma boa liberação.

O itabirito friável é localmente encontrado na área e geralmente ocorre nas porções inferiores da formação ferrífera, próximo ao contato com as rochas do Grupo Caraça. O minério ocorre tanto em camadas, onde se percebe o bandamento, como em pequenas brechas, cimentadas por veios de quartzo, sendo muito brando e constituído essencialmente por hematita, comumente especular e fina, com magnetita subordinada

(Metal Data, 2004). O quartzo que ocorre no bandamento é facilmente liberado, desagregando-se por completo quando percutido pelo martelo.

A canga estruturada é bastante abundante na área, podendo ser encontrada, por exemplo, no alto do morro da sua porção sul. Esse tipo de minério é gerado por intemperismo e consiste de uma massa coesa de fragmentos de itabirito (comumente chapinha) e hematita com tamanho e forma variados, cimentada por hidróxidos de ferro. O termo “estruturado” é empregado para ressaltar o aspecto in situ dessa rocha em relação ao minério a partir do qual ela se originou. Dessa forma, ficam preservadas as orientações das estruturas pretéritas.

A canga detrítica ocorre preferencialmente na meia encosta dos morros da área. A principal diferença entre canga estruturada e a detrítica é feita pelo arranjo espacial dos seus fragmentos. Dessa forma, o tipo de minério conhecido como canga detrítica é aquele constituído por fragmentos transportados de rocha, que confere aspecto desorganizado ao minério e não guarda a orientação espacial da estrutura da rocha original.

A canga laterítica é o equivalente da canga detrítica encontrada no sopé dos morros. Esta é constituída por fragmentos muito finos, que normalmente não ultrapassam 5cm, os quais foram transportados por uma maior distância a partir da área fonte. A gênese da canga laterítica envolve o transporte dos fragmentos por uma distância considerável. Dessa forma é necessário dizer que esse minério pode ser encontrado cobrindo rochas de diferentes naturezas.

O minério de depósitos eluvionares incoesos pode ser encontrado desde o topo até a meia encosta dos morros da área. Esse tipo de minério normalmente recobre itabiritos e hematita, correspondendo a um precursor da canga estruturada.

Os minérios de depósitos coluvionares incoesos ocorrem a partir da meia encosta dos morros, recobrendo itabiritos, hematita, cangas estruturadas e cangas detríticas. Esses depósitos são os precursores dos minérios tipo canga detrítica e laterítica e consistem fragmentos de itabirito e hematita.

Ressalta-se que o itabirito chapinha, com teor de $Fe > 63\%$, e canga estruturada, com $Fe > 59,9\%$, são também os tipos de minério mais abundantes da área, além de serem os mais ricos (Metal Data, 2004).

Os metassedimentos terrígenos do Grupo Piracicaba foram cartografados na porção oeste da área, ao longo de uma faixa de direção N-S, localmente NNW-SSE. A natureza do contato entre as rochas dos Grupos Piracicaba e Itabira é interpretada como erosiva (Metal Data, 2004).

Na área encontram-se principalmente o filito prateado e o quartzito branco, associação esta que é característica da Formação Cercadinho, a qual constitui a unidade basal do Grupo Piracicaba, que na estratigrafia da região encontra-se posicionada diretamente abaixo das rochas do Grupo Itabira (contexto de flanco invertido).

O filito prateado é predominantemente composto por sericita, com quartzo sacaroidal muito fino subordinado, podendo localmente mostrar enriquecimento em clorita, grafita, hematita e cianita. Esse filito é alterado, por intemperismo, com relativa facilidade, gerando um solo arenoso de cor amarelada muito característico.

Os quartzitos dessa unidade são predominantemente compostos por cristais de quartzo sacaroidal muito finos, intercalados a pequenas palhetas de sericita, sendo ainda encontrada hematita especular prateada e, mais raramente, cianita esverdeada em palhetas. Em zonas de falha, os filitos e os quartzitos dessa unidade passam a proto-milonitos amarelados finamente foliados, com pequenos nódulos de quartzo.

Nenhum granitóide foi reconhecido nos arredores da área, tampouco em seu interior. As ocorrências desse tipo de rocha mais próximas à área encontram-se restritas à região de Camargos, com possibilidade de ocorrerem também na região de Antônio Pereira, como sugerido pela conhecida ocorrência de topázio daquele distrito.

Os veios de quartzo são observados em toda a extensão da área. Estes concentram-se nos metassedimentos terrígenos quartzosos dos Grupos Caraça e Piracicaba, do Supergrupo Minas, alcançando as maiores dimensões nas proximidades do contato entre as rochas daqueles grupos com os itabiritos da Formação Cauê. Dois tipos principais de veios puderam ser distinguidos em função do conteúdo mineralógico principal: veios de quartzo puro e veios de quartzo com cianita.

Os veios de quartzo puro são os mais expressivos, atingindo dimensões de alguns metros. Geralmente esses veios são encontrados na borda leste da área, onde se associam aos quartzitos e filitos do Grupo Caraça. Na maioria das vezes, os cristais de quartzo que constituem esses veios são muito grossos, com cor branca e aspecto leitoso. Outros minerais raramente observados no interior desses veios são a muscovita, a clorita e hidróxidos de ferro.

Esses veios encontram-se freqüentemente encaixados em quartzo-muscovita xisto, com orientação paralela à xistosidade principal. Esse fato indica a formação desse tipo de veio em regime compressivo de deformação, provavelmente concomitante à formação da xistosidade em questão (Metal Data, 2004).

Os veios de quartzo com cianita ocorrem preferencialmente na porção oeste da área, associados às rochas do Grupo Piracicaba. O quartzo desses veios tem as mesmas características daqueles veios supracitados, diferindo-se basicamente pelo seu menor porte. Os cristais de cianita são esverdeados, raramente acinzentados e têm dimensões variando de poucos milímetros a alguns centímetros. Esses cristais estão dispostos de forma aleatória, formando uma trama entrelaçada.

5.4. Integração e Interpretação

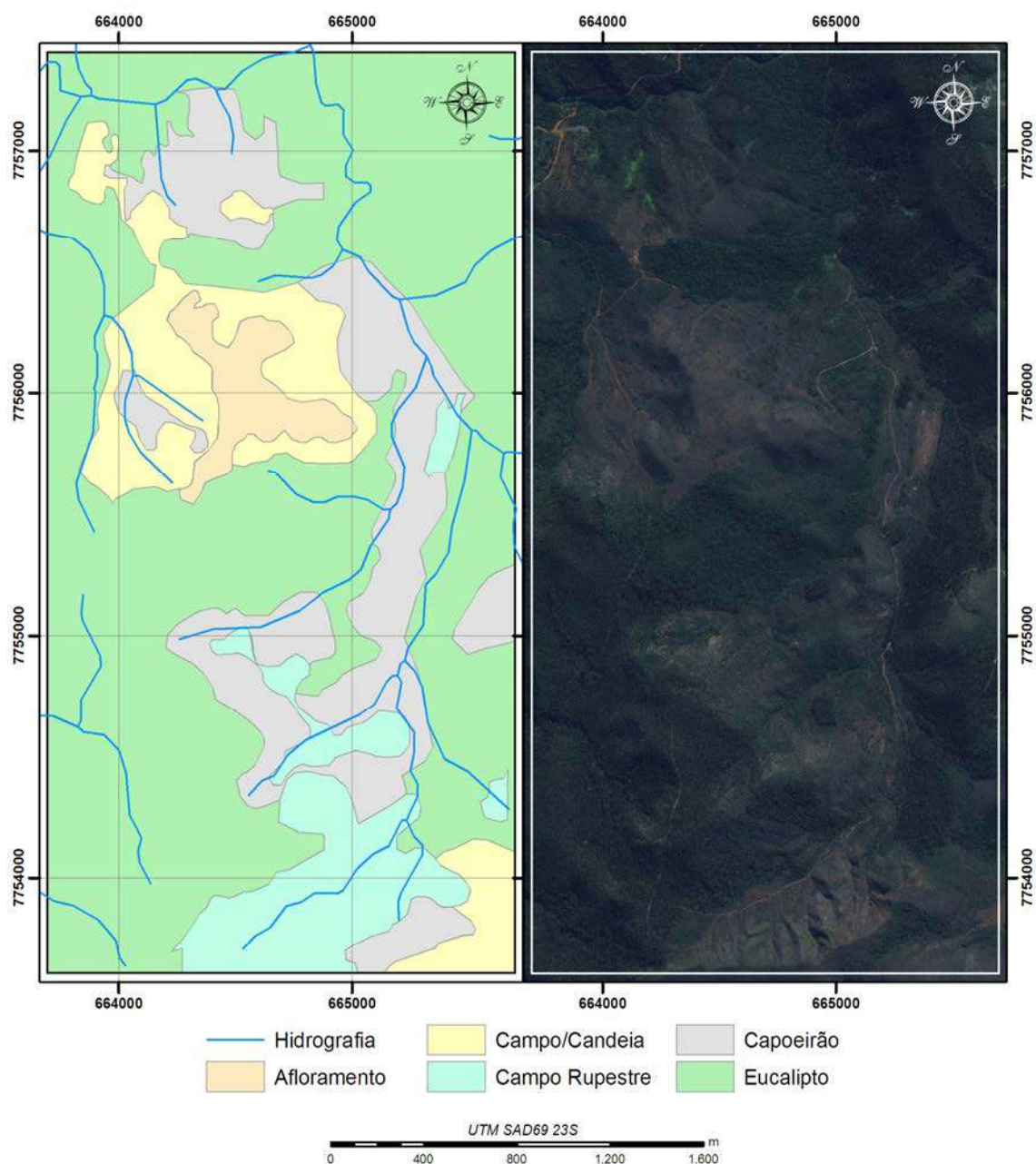


Figura 5.3: Mapa de interpretação dos compartimentos de uso do solo da área de estudo e a imagem Ikonos base.

Os dados trabalhados até então passam a ser manipulados de tal forma a gerarem visualizações que possibilitem maiores e melhores interpretações.

A imagem Ikonos permitiu que fossem diferenciadas compartimentações da vegetação – que por sua vez refletem o tipo de substrato no qual se encontram (figura 5.3). As cinco classes identificadas na imagem, posteriormente conferidas em campo foram: Afloramento, Campo/Candeia, Campo Rupestre, Capoeirão e Eucalipto.

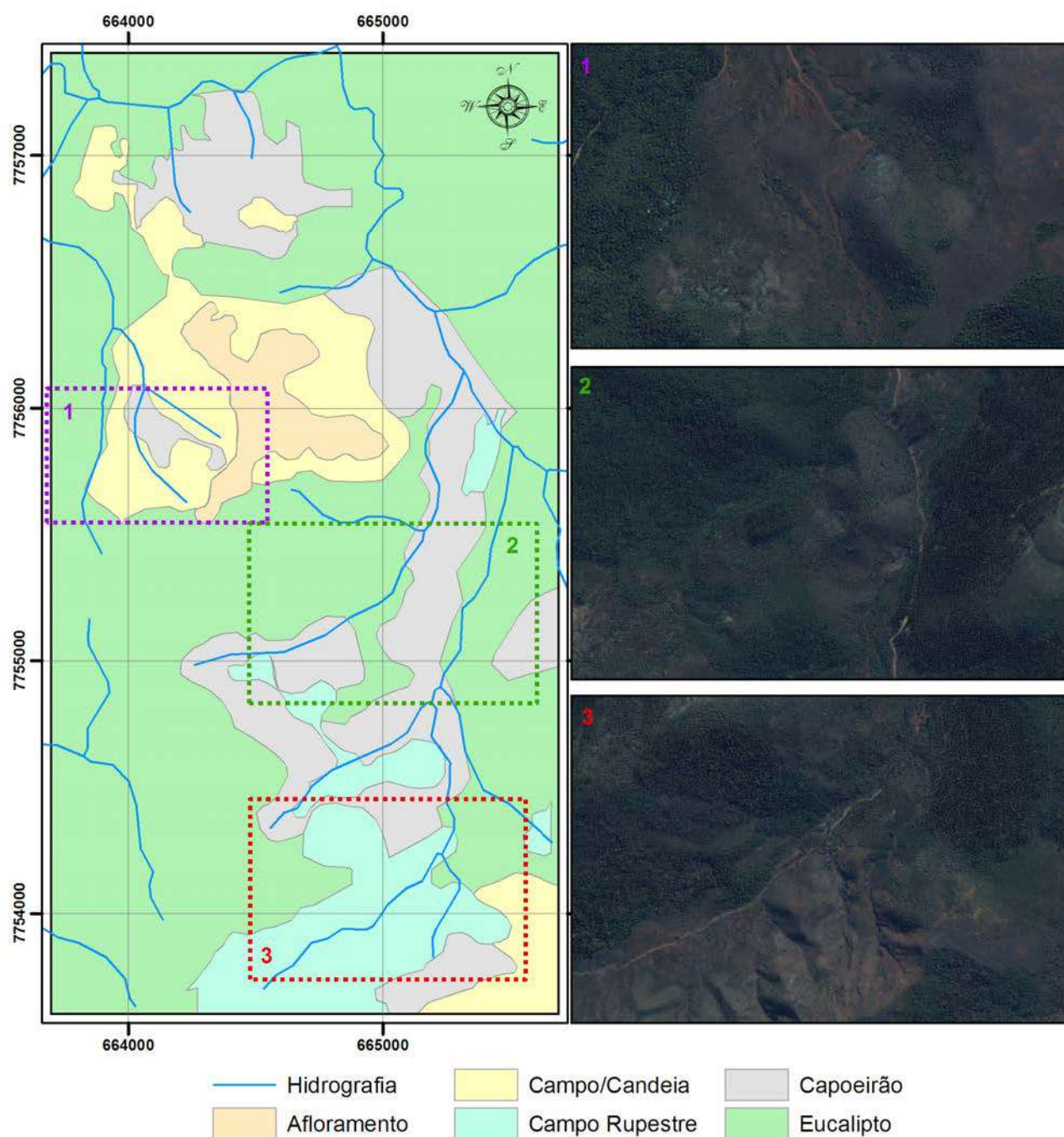


Figura 5.4: Detalhes da imagem Ikonos demonstrando as transições abruptas da vegetação da área de estudo localizadas no mapa interpretado.

Em uma primeira visão, anterior ao trabalho de campo, foram delimitadas as diferentes classes, de modo manual, por se tratar de uma área de pouca extensão e onde a geometria das feições estão de certa forma bastante evidentes. Com auxílio do trabalho de campo foi possível determinar os espécimes vegetais que ocorrem em cada classe, onde à exceção dos afloramentos, as outras possuem exemplares característicos, auxiliando na interpretação do terreno.

A figura 5.4 mostra detalhes interessantes da vegetação observados na imagem Ikonos. Observa-se como realmente são abruptas as passagens de uma classe para outra, indicando não haverem transições nas variações.

A correlação entre os compartimentos de vegetação e os litotipos da área equivale àquele descrito no capítulo de fisiografia, onde:

- afloramentos: regiões onde nitidamente são observadas a ausência parcial ou total da vegetação por conta do substrato rochoso.
- Campo/Candeia: campo onde se desenvolve a candeia, espécie que tende a predominar sobre substrato ferruginoso, principalmente sobre as cangas, predominando a espécie citada.
- Campo rupestre: campo onde se desenvolve vegetação sobre substrato ferruginoso, mas não sendo este canga; existem outras espécies em equilíbrio além da candeia.
- Capoeirão: vegetação mais lenhosa, predominando em regiões de drenagem e solo mais espesso.
- Eucalipto: área de plantação de eucalipto pertencente à CAF - Santa Bárbara.

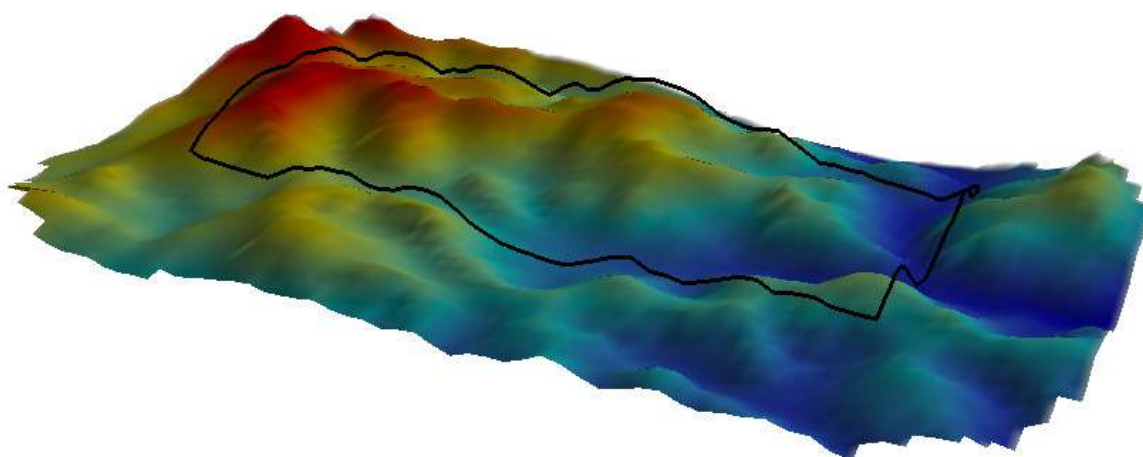


Figura 5.5: SRTM da área. Visão de NE para SW.

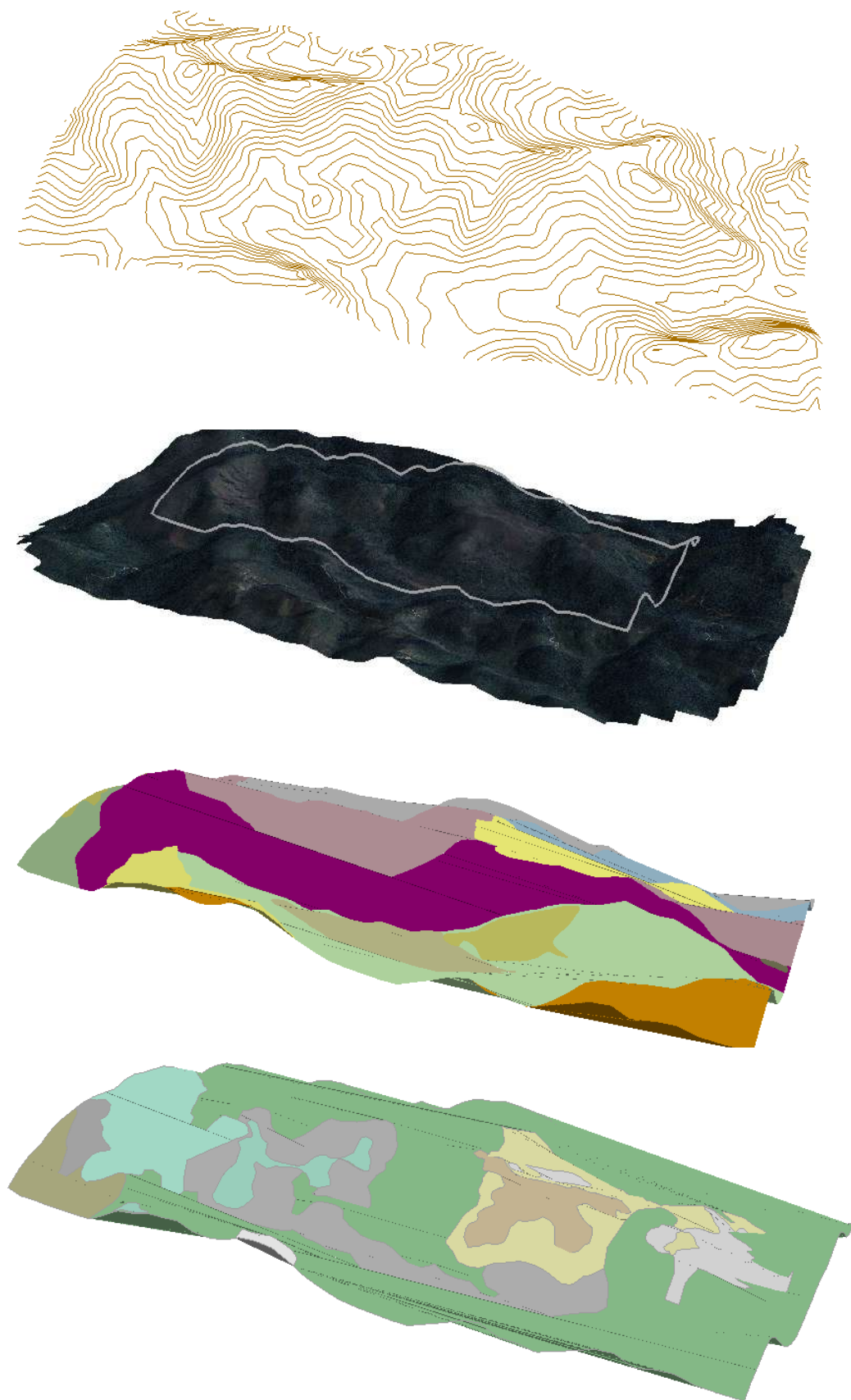


Figura 5.6: SRTM revestido por algumas informações, como hipsometria, imagem Ikonos, mapa litológico e mapa de uso do solo. Visão de NE para SW.

A imagem Ikonos pode ser ainda “vestida” sobre o SRTM (figura 5.6), para auxiliar na visualização e identificação de feições estruturais e geomorfológicas. Assim, além do mapa de declividade da área, o SRTM se mostra útil para uma melhor visualização das elevações do terreno (figura 5.5).

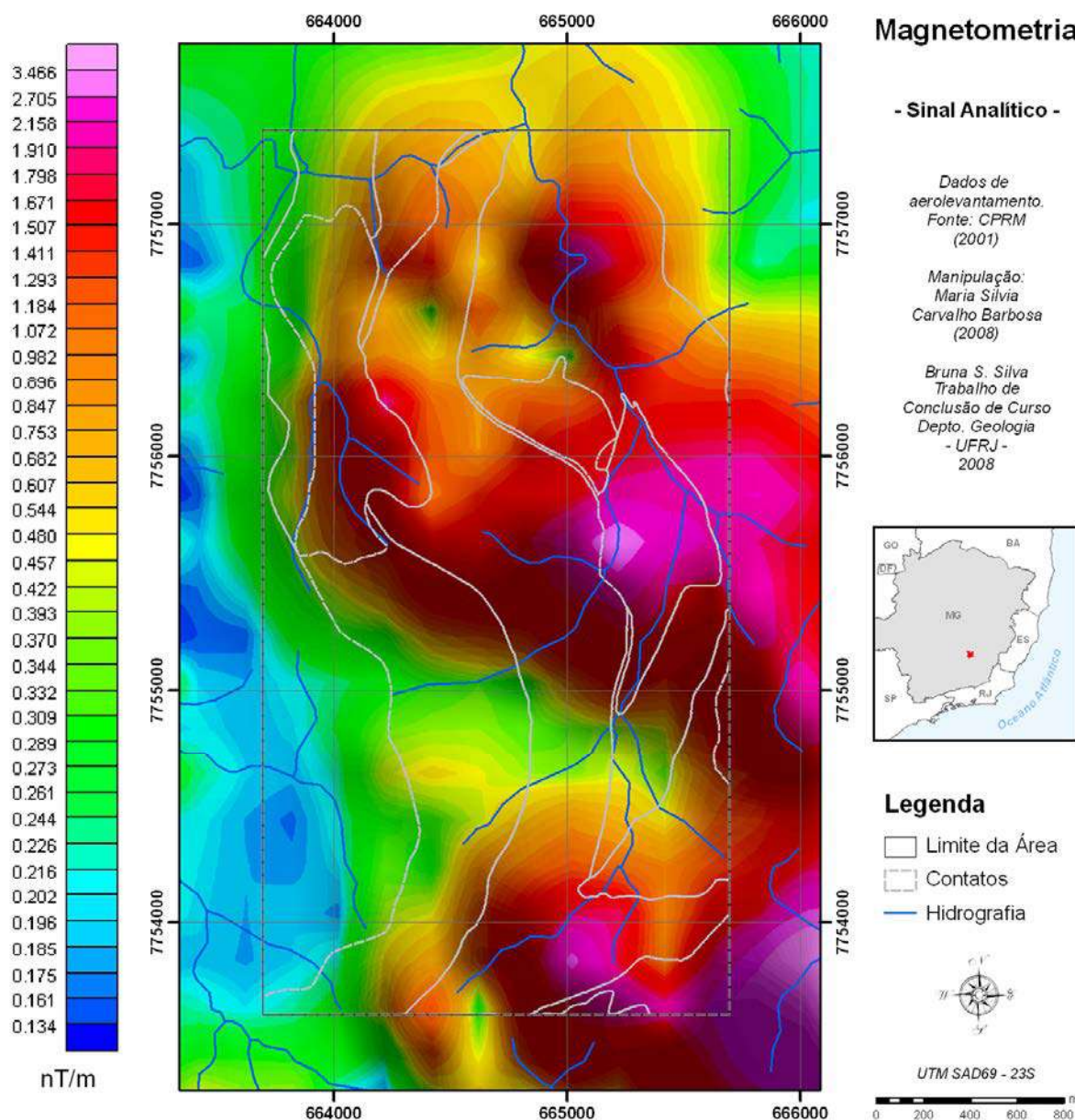


Figura 5.7: Imagem aeromagnética da Amplitude do Sinal Analítico.

Nas imagens geofísicas são interpretadas as anomalias de acordo com o sensor que se utiliza. Para os rasters de dados magnetométricos, anomalias bastante positivas chamam a atenção quando se trata de minério de ferro, enquanto em gamaespectrometria o contrário sucede.

A imagem ASA (figura 5.7) permite interpretar os limites dos corpos, sem que haja influência do corpo em si. Portanto, podemos identificar anomalias altas no corpo central e no corpo sul. Observa-se ainda que eles não parecem ser um corpo único, como se imaginava, ou que a parte central seria uma camada de muito pouca espessura.

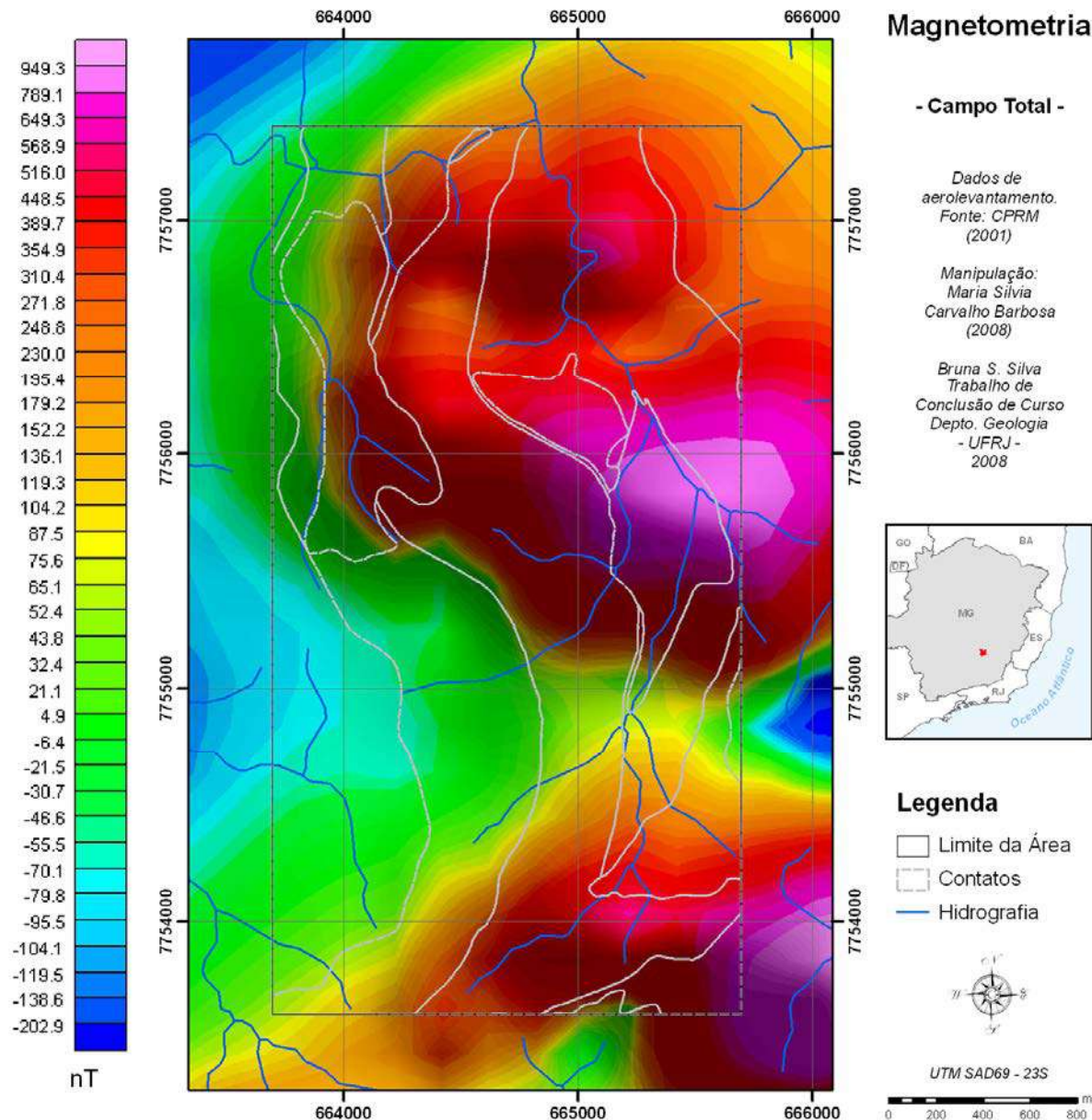


Figura 5.8: Imagem aeromagnética da correção pelo IGRF.

Na imagem com a correção do IGRF (figura 5.8) observam-se dois grandes conjuntos de anomalias (dipolos), um no centro-leste e outro ao sul, fora da área. O dipolo da anomalia central está coincidindo com os depósitos quaternários, a canga laterítica e a parte mais a oeste desta, encontra-se nos itabiritos. Já o dipolo da anomalia ao sul corresponde à serra do limite da área, que se estende até fora dos limites definidos,

onde é observada uma anomalia de maior intensidade, porém em áreas adjacentes e não na área em questão.

Na imagem Dx (figura 5.9), verifica-se o limite de corpos por conta da derivada na direção X. É possível observar que as anomalias magnéticas estão na mesma posição da unidade itabirítica e das cangas lateríticas (centro-norte/noroeste e sul da área). Uma vez que as cangas revestem o relevo correspondente aos itabiritos, inclui-se as como unidades lavráveis, mesmo entendendo-se que serão menor em teor que o minério itabirítico em si. Esta foi a melhor imagem magnetométrica, tendo exibido com melhor posicionamento as unidades que contém o minério.

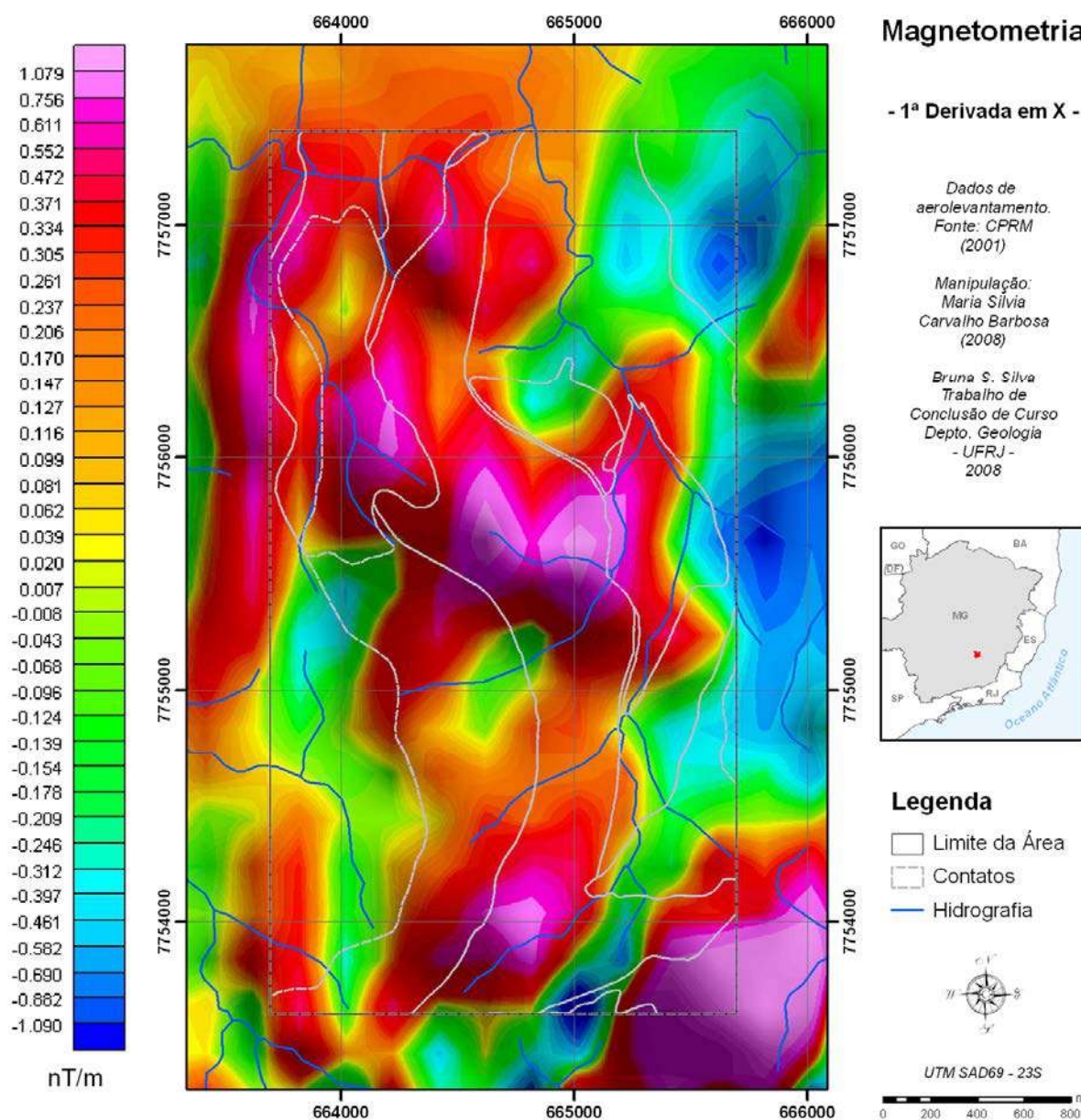


Figura 5.9: Imagem aeromagnética da 1ª derivada horizontal em X.

Já na imagem Dz (figura 5.10), por ser um filtro de derivada vertical, pode-se observar as assinaturas de corpos mais rasos e possíveis estruturas.

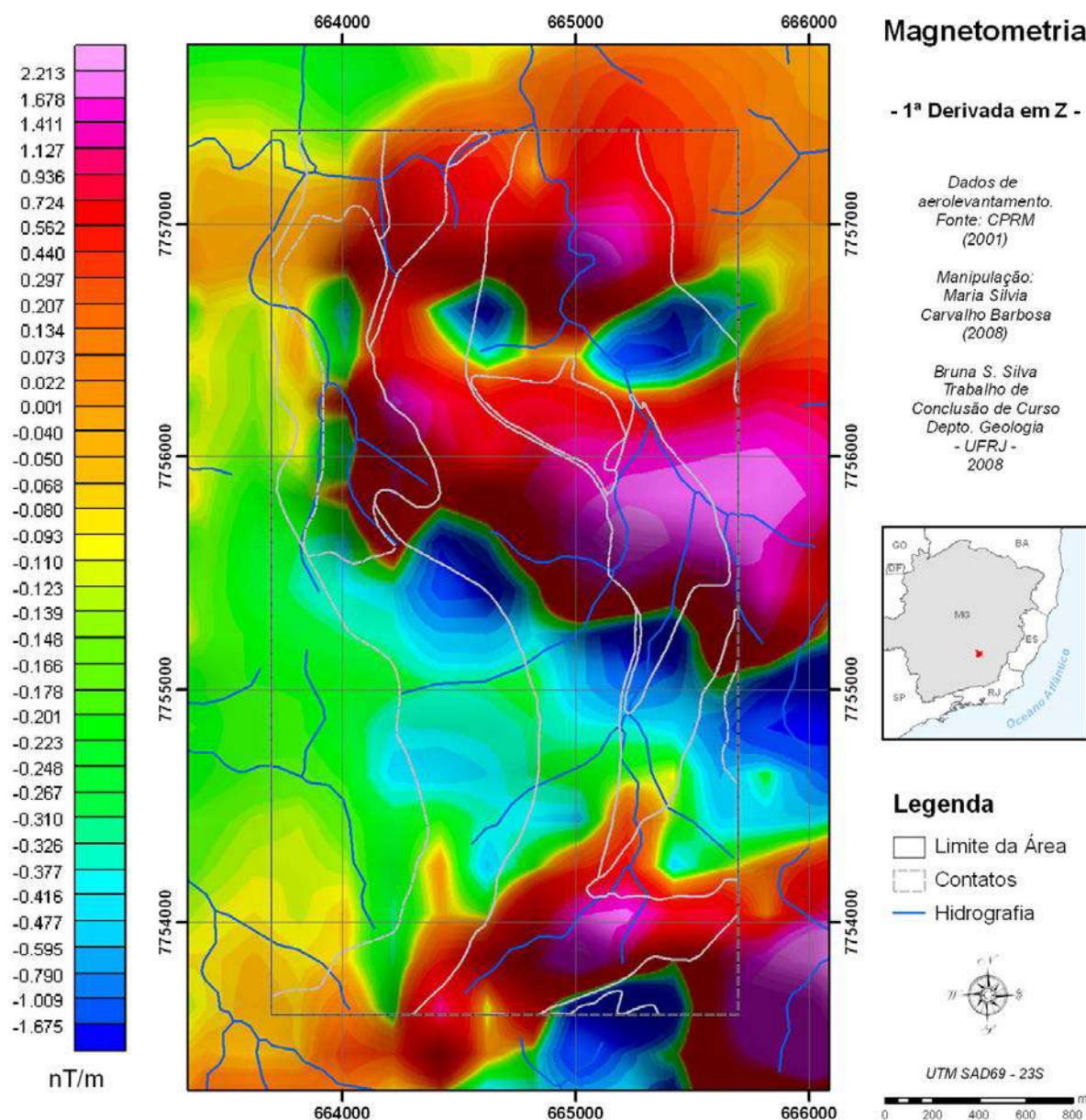


Figura 5.10: Imagem aeromagnética da 1ª derivada vertical.

Passando às imagens gamaespectrométricas, iniciamos pela imagem do canal CT, onde os radioelementos contribuem para a contagem em cps, independente de quais sejam eles. Nesta imagem (figura 5.11) verificamos que as anomalias de maior intensidade encontram-se sobre as unidades do Grupo Caraça, sendo estas litologias predominantemente quartzitos sericíticos e filitos. Os itabiritos e rochas ferruginosas são caracterizados por valores baixos.

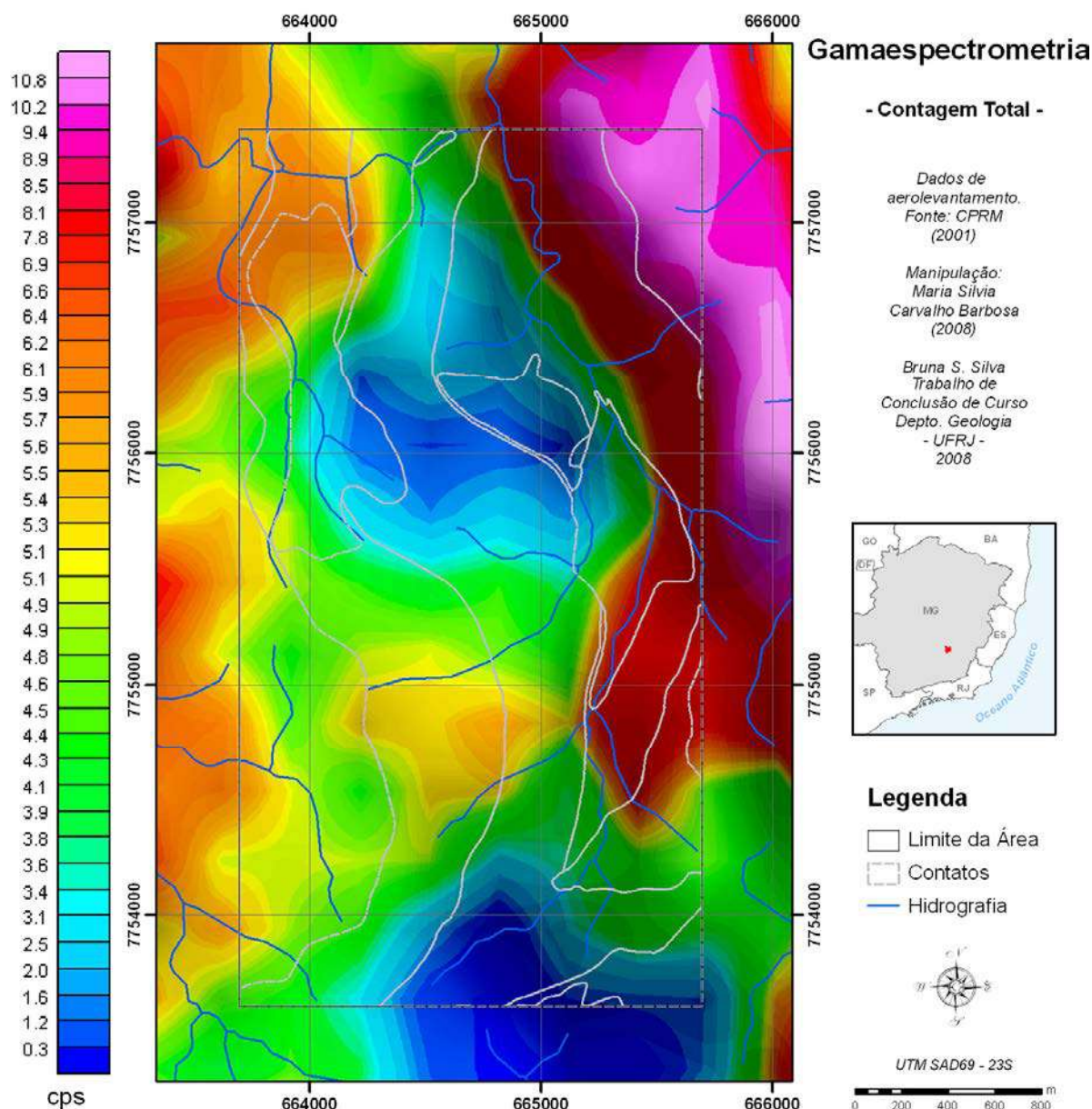


Figura 5.11: Imagem gamaespectrométrica do canal de Contagem Total.

Com as imagens diferenciadas dos canais Th (figura 5.12), U (figura 5.13) e K (figura 5.14) verifica-se que todos os três possuem maior concentração nas regiões onde se observa litologias do Grupo Caraça (direção NNW-SSE à leste da área) e as unidades terrígenas do Grupo Itabira (Formações Cercadinho e Fêcho do Funil - faixa N-S à oeste da área).

O tório mostra claramente concentrações apenas nas unidades do Grupo Caraça, enquanto o potássio é observado tanto nos litotipos do Grupo Caraça quanto nas unidades terrígenas do Grupo Itabira. Já o urânio tem uma maior dispersão na área, inclusive na porção central, onde a anomalia positiva coincide com a anomalia negativa da

magnetometria. O potássio delimita muito bem três unidades, estas estão muito bem marcadas, sendo de grande valia para o mapeamento e a interpretação geológica.

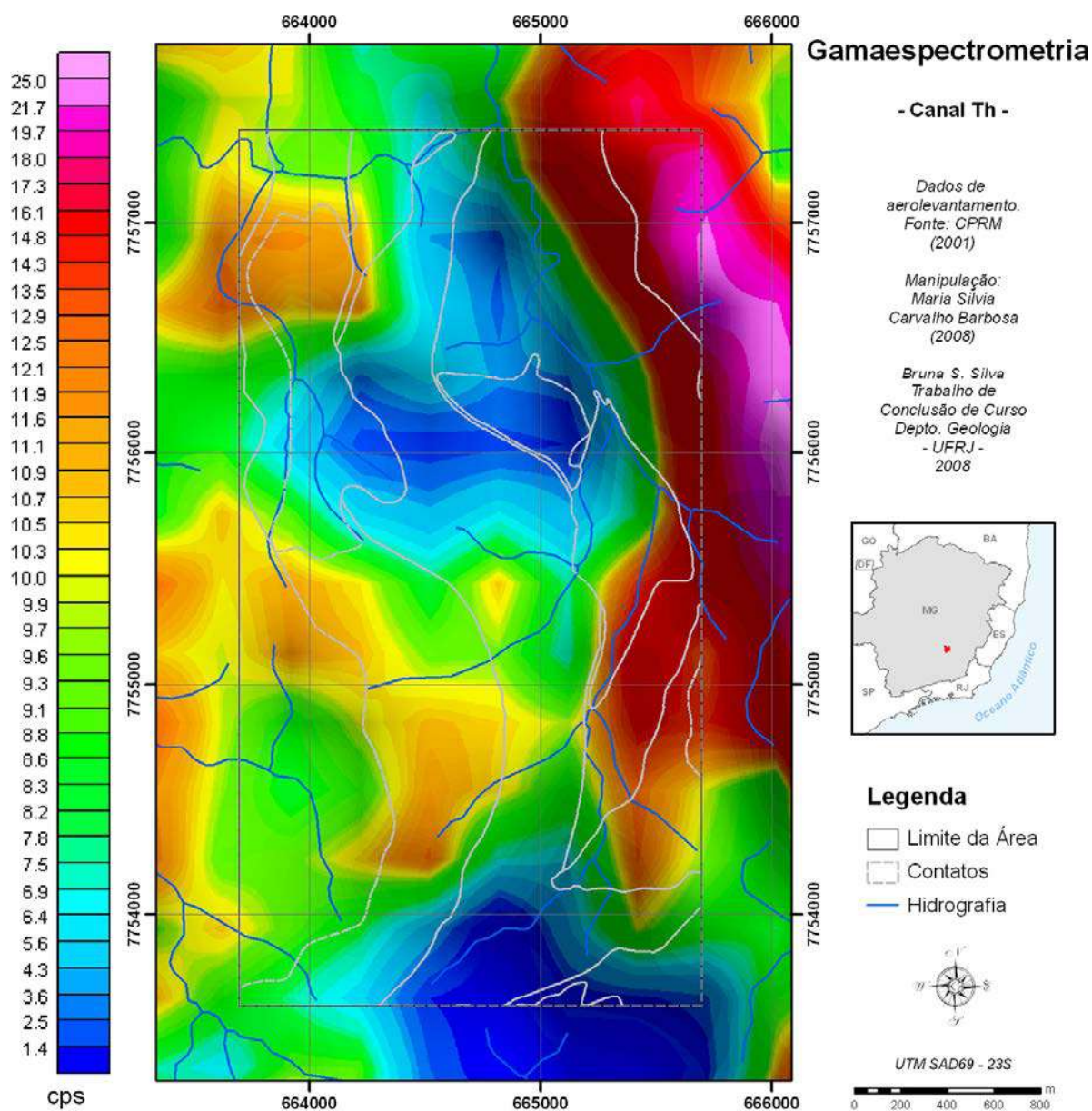


Figura 5.12: Imagem gamaespectrométrica do canal Th.

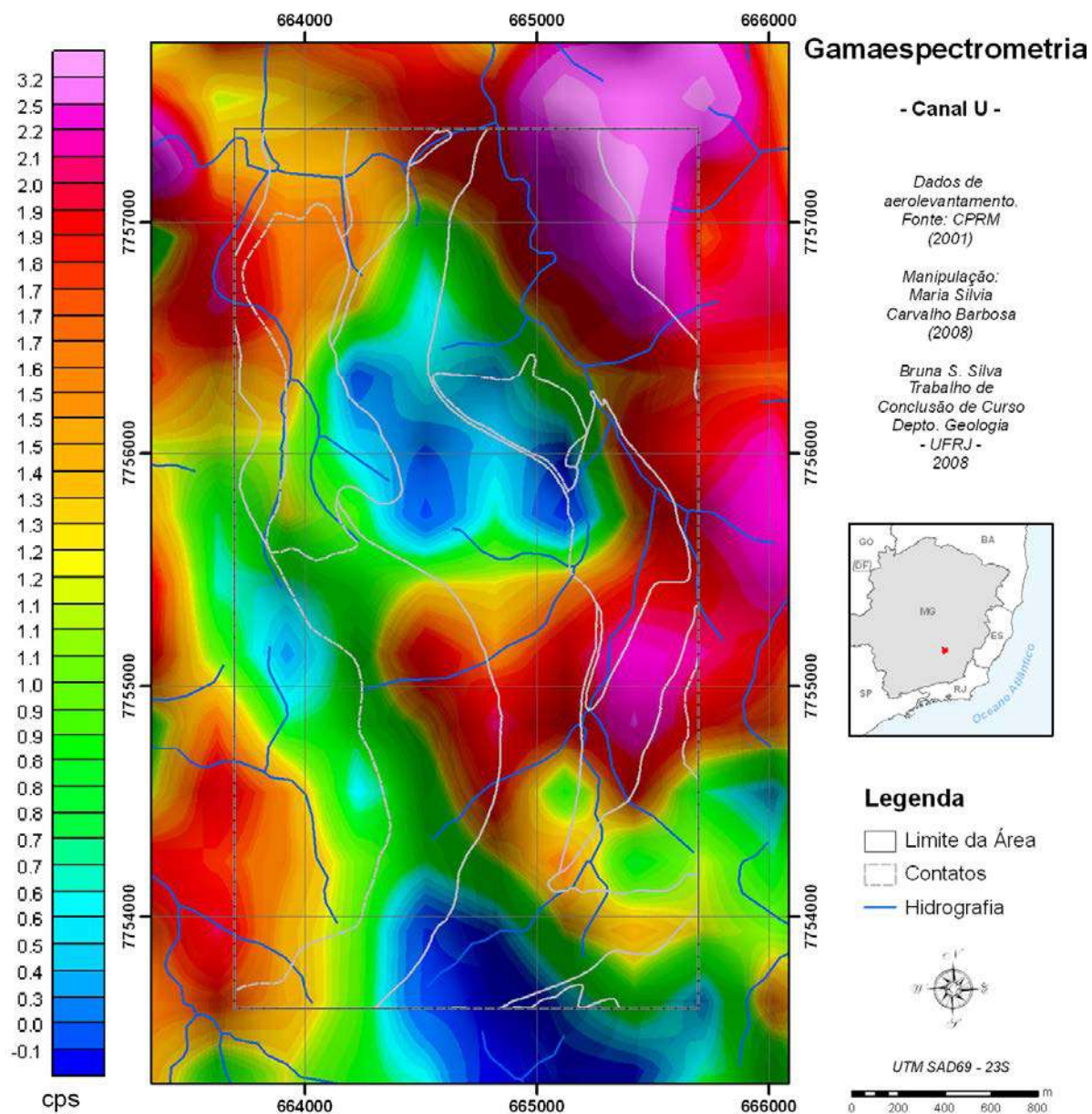


Figura 5.13: Imagem gamaespectrométrica do canal U.

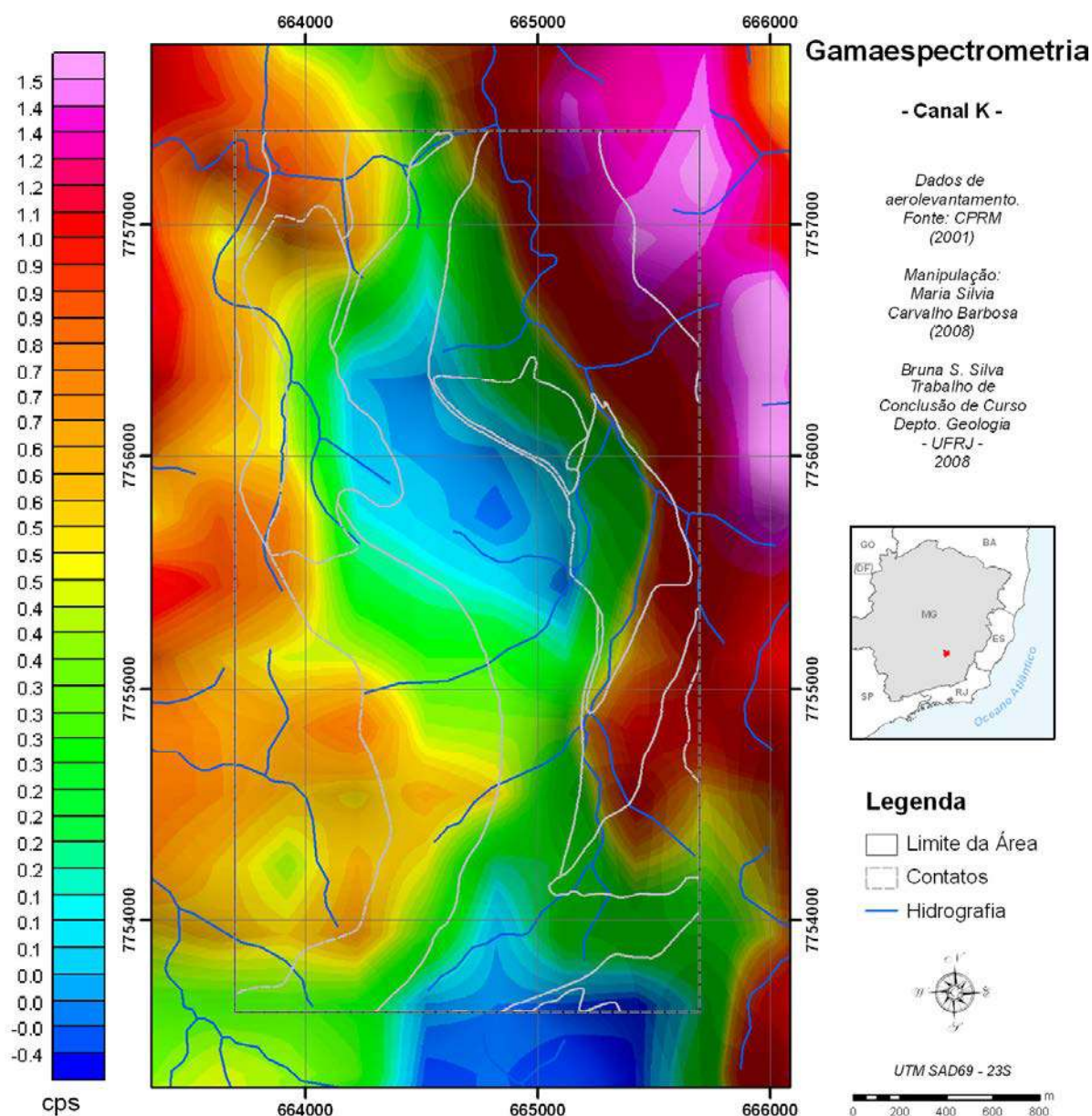


Figura 5.14: Imagem gamaespectrométrica do canal K.

O mapa de Canal Ternário (figura 5.15) indica onde há concentração de cada um dos três elementos anteriores (Th, U e K), indicando ainda regiões onde há combinação em proporções diferentes entre eles - inclusive ausência total ou presença em alta quantidade. No presente caso de estudo, regiões onde há ausência dos três radioelementos são positivas para a pesquisa de minério de ferro, pois considera-se que a presença deles é maior em rochas filíticas e menor em rochas itabiríticas.

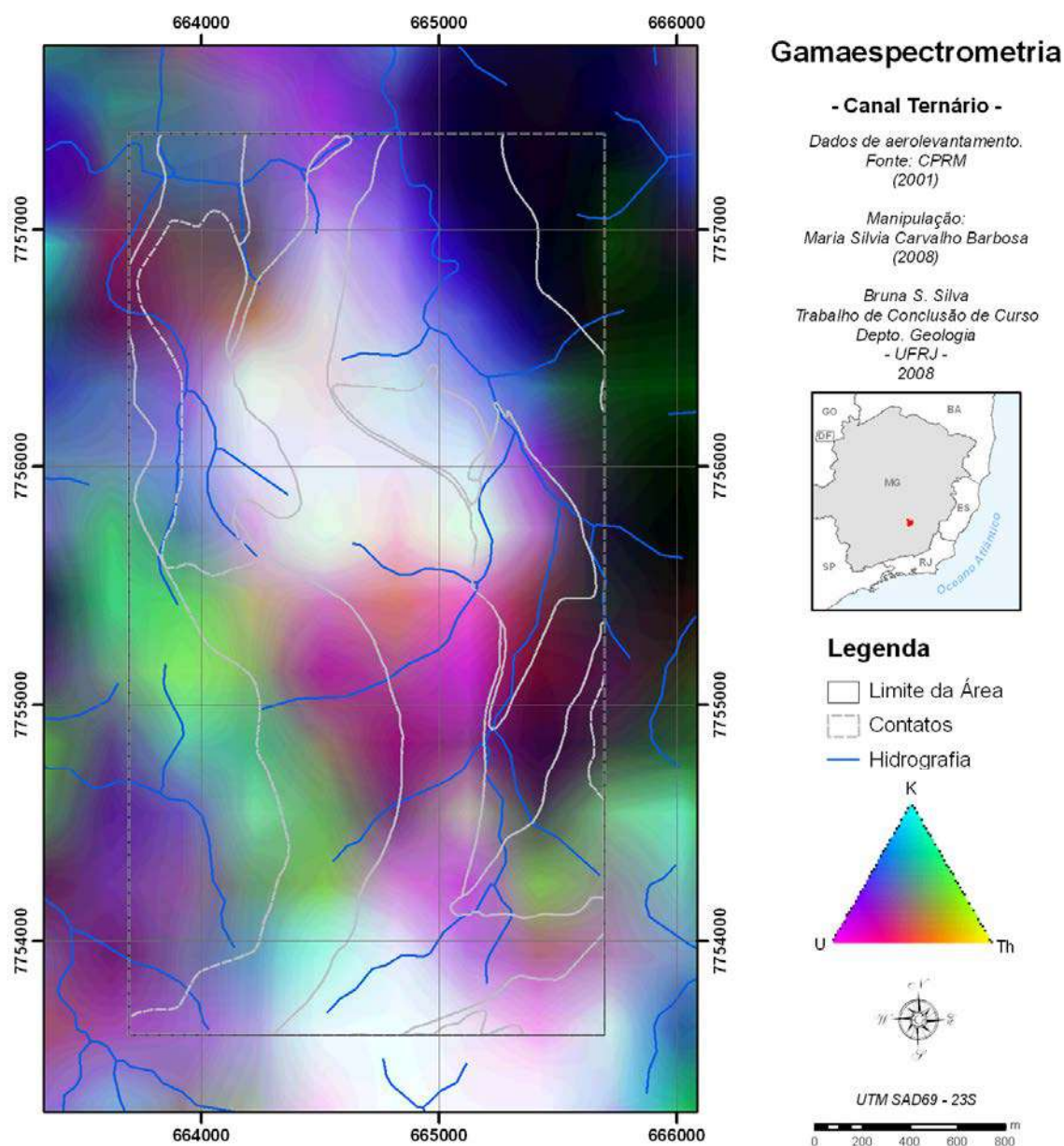


Figura 5.15: Imagem gamaespectrométrica do Mapa Ternário.

Com relação aos dados de campo, foram selecionadas regiões específicas da área a serem visitadas, como a serra ao sul, a anomalia positiva de urânio ao centro e a anomalia magnética positiva à centro-oeste. Pontos de interesse foram registrado em GPS, bem como os caminhamentos, para também servirem de apoio ao registro de acessos (figura 5.16). Também foram registrados pontos de controle para o georreferenciamento da imagem Ikonos e para o ajuste do SRTM (figura 5.17).

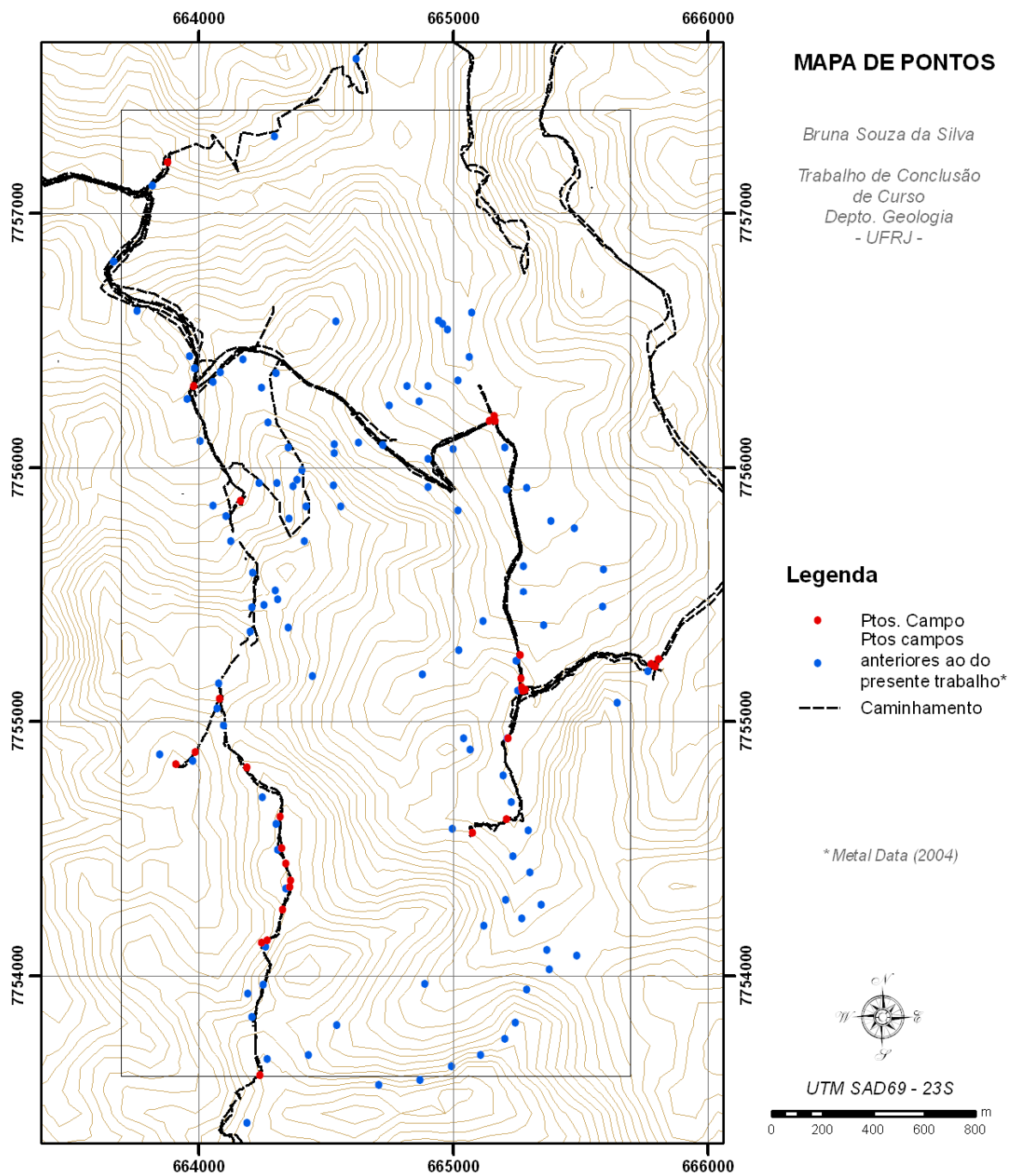


Figura 5.16: Mapa de pontos de campo e caminhamentos, coletados com GPS.

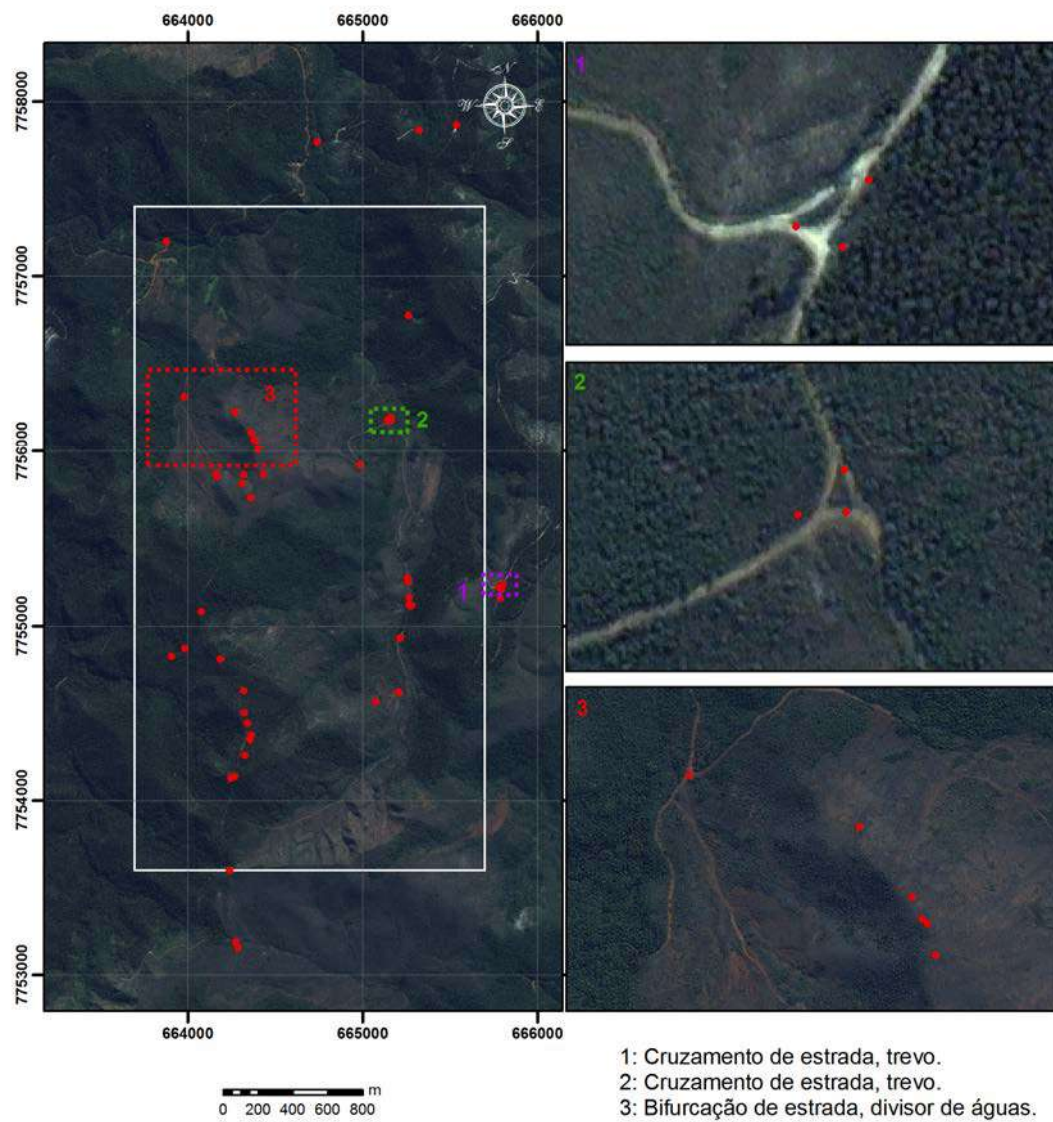


Figura 5.17: Pontos de detalhe localizados na imagem Ikonos, mostrando pontos de controle coletados em GPS para o georreferenciamento da mesma.

Capítulo 6. Conclusões

O geoprocessamento se mostra, na atualidade, como uma ferramenta necessária para a aceleração de todo procedimento de pesquisa mineral. Através dele pode-se diminuir o tempo de pesquisa, desde a fase de requisição da área de pesquisa junto ao DNPM, e também pela otimização dos trabalhos de campo.

O presente trabalho se propôs a apresentar meios de interpretação ágeis e de fácil acesso ao usuário final dos dados, facilitando interpretações e manuseio de informações.

Com a utilização de informações georreferenciadas e projetadas para uma mesma referência espacial, não há problemas de compatibilização de dados, o que freqüentemente ocorre quando os dados são interpretados em meio analógico (impresso e/ou direto da fonte). Com isso, o tempo que se dispensa para a alimentação de um banco de dados uniforme e único tende a ser relativamente menor que aquele que se utiliza para interpretar informações originais.

No caso presente de estudo, dados de diversas fontes foram utilizados, tais como os mapeamentos anteriores, imagem Ikonos, imagens geofísicas e modelo digital de elevação SRTM. A interpretação destas informações culminou em um trabalho de campo para a verificação e confirmação do possível depósito.

Durante o trabalho de campo verificou-se que as anomalias geofísicas confirmam a presença de minério de ferro de alto teor nas porções central/centro-noroeste e sul da área. Observou-se que os mapeamentos anteriores delineiam muito bem os contatos e estruturas, não precisando de muitos ajustes para que fossem colocados maiores detalhes.

Os pontos de controle coletados para o georreferenciamento da imagem, mesmo com GPS de mão, conseguiram bons resultados, gerando um erro final de $\pm 9.2\text{m}$. Com isso, o posicionamento da imagem Ikonos em relação aos mapeamentos anteriores e às imagens geofísicas foi bastante positivo, permitindo também análise mais precisa de unidades de uso do solo e que estas últimas fossem comparadas com as unidades litológicas.

Com isso, chega-se a conclusão que o trabalho realizado permite sugerir que a área precisa de mais sondagem, maiores estudos petrográficos e geoquímicos, para a avaliação mais precisa do minério,

que desde já é observado como de boa qualidade e tende a ser lavrado desde os itabiritos até a própria canga laterítica.

Bibliografia

Alkmim, F.F., & Marshak, S., 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*, 90: p29-58.

Babinski, M., Chemale, F.Jr., Van Schmus, W.R., 1993. A idade das formações ferríferas bandadas do Supergrupo Minas e sua correlação com aquelas da África do Sul e Austrália. *In: Anais, II Simpósio do Cráton São Francisco, Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Bahia/Sergipe*, p. 152-153.

Baltazar, O.F., 2005. Integração Geológica dos Projetos USGS/DNPM e CPRM/DNPM em escala 1:25.000. Anexo III. *In: Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa*. Lobato *et al.* (2005) CODEMIG. Belo Horizonte

Baltazar, O.F. & Raposo, F.O. 1993. Programa de Levantamentos Geológicos do Brasil, Folha Mariana – SF.23-X-B-I. Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000. Brasília, DNPM/CPRM. 196p.

Lobato, L.M.; Baltazar, O.F.; Reis, L.B.; Achtschin, A.B.; Baars, F.J.; Timbó, M.A.; Berni, G.V; Mendonça, B.R.V. de; Ferreira, D.V. 2005. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Belo Horizonte: CODEMIG, 2005. 1 DVD-ROM

Costa, F.G.D. & Würdig, M.Q.S., 2007. Mapeamento Geológico do Limite Norte da Faixa Vazante-Paracatu, na Região de Unaí e Cabeceira Grande/MG. Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Universidade Estadual de Campinas, Trabalho de Conclusão de Curso, 89p.

CPRM, 2003. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Sistema de Informações Geográficas - SIG. Folhas SE23 (Belo Horizonte) e SF23 (Rio de Janeiro).

Dorr, J.V.N., 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. Prof. Pap. U.S.G.S., Washington. nº 611-A, 110p.

Endo, I. 1997. Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. 243p.

Evans, A.M., 1992. Ore Geology and Industrial Minerals: an Introduction. 3ª edição. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 400p.

Ferreira, F.J.F. & Souza, J.L., 2002. Gamaespetrometria: Fundamentos, Geoquímica e Distribuição dos Radioelementos em Rochas e Solos. Curso de Pós Graduação em Geologia, notas de aula da Disciplina de Geofísica Exploratória. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra - Departamento de Geologia. Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada. Curitiba. 72p.

Ferreira Filho, F.A. 1999. Análise estrutural qualitativa do Sistema de Falhas da Água Quente, Borda leste do Quadrilátero Ferrífero – MG. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil. 162p.

FONSECA, C.D., 1998. O Espaço Urbano de Mariana: sua formação e suas representações. In: Termo de Mariana – História e Documentação. (Projeto de Pesquisa). Mariana, MG. Imprensa Universitária da UFOP, 1998. 220p.

Garcia, M.A.T., Crósta, A.P. & Souza Filho, C.R., 1998. Integração de Dados Multiespectrais e Geofísicos na Identificação de Áreas Favoráveis à Ocorrência de Ouro na Chapada Diamantina, Bahia. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil. Inpe, p401-414.

Gomes, C.J.S., Rosière, C.A. & Pereira Filho, M., 2000. Modelos Físicos do Sistema de Cavalcamento Fundão-Cambotas, no Domínio da Zona de Cisalhamento das Cambotas, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Revista Brasileira de Geociências. 30(4): p631-638.

IBGE – Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil – IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais – 2ª ed. – Rio de Janeiro: IBGE, 1996.

IBGE - Carta do Brasil ao Milionésimo, 2004.

Maxwell, C.H., 1972. Geology and ore deposits of the Alegria District, Minas Gerais, Brazil. Prof. Pap. U.S.G.S., Washington. nº 341-J, 72p.

Metal Data, 2004. Proposta de Programa de Pesquisa - Área Gualaxos. Relatório de Pesquisa Interno - não publicado.

Observatório Nacional. 2008. Pergunte a um Astrônomo. http://www.on.br/pergunte_astro. Último acesso em 11-03-2008.

Peel, M. C., Finlayson, B.L. & MacMahon, T.A., 2007. Update world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth Systems Sciences*, 11: p.1633-1644.

Silva, R.G. 1999. Análise Estrutural e Modelagem Tectônica da região centro-sul do Sinclinal da Moeda, Quadrilátero Ferrífero, MG. Dissertação de Mestrado. Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil.

Souza, L.A., Sobreira, F.G. & Prado Filho, J.F., 2005. Cartografia e Diagnóstico Geoambiental Aplicados ao Ordenamento Territorial do Município de Mariana - MG. *Revista Brasileira de Cartografia*, 57/03: p.189-203.

Souza Filho, C.R. & Crósta, A.P., 2003. Geotecnologias aplicadas à Geologia. *Revista Brasileira de Geociências*, 33(2-Suplemento):1-4.

Wedepohl, K.H., 1995. The composition of the continental crust. *In: Geochimica et Cosmochimica Acta*. Vol. 59 nº7, p.1217-1232. Pergamon.

<http://seamless.usgs.gov/>

<http://srtm.csi.cgiar.org/>

http://www.comig.com.br/site/content/parcerias/levantamento_aerogeofisico.asp?id=29&idSubPrj=31

<http://www.geomag.bgs.ac.uk/gifs/igrf.html>

<http://www.gi.alaska.edu/remsense/>

http://www.iugg.org/IAGA/iaga_pages/pubs_prods/igrf.htm

<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>